Un nuovo approccio contro la resistenza agli antibiotici

Le Scienze

Marzo 2015

€ 4,50

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Si salvi chi può

La strategia di adattamento dell'Italia per affrontare il cambiamento climatico manca ancora di strumenti operativi adeguati

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA - RIVISTA MENSILE - NUMERO 559

Astronomia

Nella Via Lattea ci sono pianeti più idonei della Terra a ospitare la vita

Biodiversità

Il progetto di conservazione che salverà gli anfibi del Madagascar

9 770036 808000 50559

#SCEGLIILVERDE

SOBRIO.it

Investi in **Fondi** e paghi l'**imposta** di **Bollo**?

Noi la **cancelliamo!**

onlinesim.it

Online Sim è la piattaforma italiana del risparmio gestito.

Apri un Dossier Fondi presso Online Sim entro il **30 aprile 2015** per ricevere il rimborso dell'imposta di Bollo.

www.onlinesim.it **info@onlinesim.it** **800 92 00 45**

Messaggio pubblicitario con finalità promozionali. Prendere visione del Regolamento dell'iniziativa a disposizione sul sito www.onlinesim.it.

IN COPERTINA

Gli effetti del riscaldamento globale, come eventi meteo estremi più frequenti e temperature medie da record, si fanno sentire anche nel nostro paese, che sta elaborando una strategia di adattamento. (Kenn Brown/Monolithic Studios)

Sommario

marzo 2015 numero 559

ASTRONOMIA

30 Meglio della Terra

di René Heller

I mondi più adatti a ospitare vita nell'universo potrebbero essere molto diversi dal nostro

MEDICINA

38 Terapia virale contro il cancro

di Douglas J. Mahoney, David F. Stojdl e Gordon Laird

In alcuni malati di cancro, virus modificati per distruggere le cellule tumorali funzionano come un farmaco: ora gli scienziati puntano a migliorare questo successo

CAMBIAMENTO CLIMATICO

44 Adattarsi al clima che verrà

di Giovanni Sabato

Come altri paesi europei, ora anche l'Italia ha una strategia di adattamento con cui affrontare gli effetti del cambiamento climatico che già si manifestano e diventeranno sempre più accentuati

MEDICINA

52 Un punto debole nella fortezza dei batteri

di Carl Zimmer

I biologi evoluzionisti provano ad attaccare i batteri in un nuovo modo: limitandone la vita sociale

NEUROSCIENZE

58 La questione del libero arbitrio

di Eddy Nahmias

Ci sono neuroni che si attivano prima ancora che ci rendiamo conto di aver preso una decisione. Ma questa scoperta non significa che siamo soltanto dei «burattini biochimici»

BIODIVERSITÀ

62 L'isola delle rane

di Franco Andreone, Angelica Crottini e Herilala Randriamahazo

Il Madagascar ospita numerose specie di anfibi a rischio di estinzione a causa di molteplici attività umane. Ora un progetto che coinvolge istituzioni, scienziati e popolazioni locali cercherà di proteggerli

TECNOLOGIA

68 Un mondo in movimento

di Frédo Durand, William T. Freeman e Michael Rubinstein

Un nuovo microscopio rivela minuscoli cambiamenti in oggetti e persone che appaiono immobili

ALIMENTAZIONE

74 Che gusto avrà il nostro vino?

di Kimberly A. Nicholas

Mentre i cambiamenti climatici alterano la composizione dell'uva, i viticoltori cercano di conservare l'aroma dei nostri vini preferiti

ESPLORAZIONE

82 Alla ricerca di tesori sommersi

di Philip J. Hilts

Grazie a incredibili nuove tecnologie gli scienziati stanno riportando alla luce i relitti di antiche navi con la stessa precisione di uno scavo archeologico

Ron Miller

Sommario

12

96

97

Rubriche

7 Editoriale
di Marco Cattaneo

8 Anteprima

10 Lavori in corso

12 Il caso
Razze umane e Costituzione
di Giovanni Destro Bisol e Maria Enrica Danubio

14 Intervista
Il punto sull'intelligenza artificiale *di Silvia Bencivelli*

16 Made in Italy
In difesa della sicurezza alimentare *di Letizia Gabaglio*

18 Scienza e filosofia
Filosofia e metodi formali *di Elena Castellani*

19 Appunti di laboratorio
Uno o due misteri? *di Edoardo Boncinelli*

20 Il matematico impertinente
Il treno dei desideri *di Piergiorgio Odifreddi*

21 La finestra di Keplero
Le ragioni dell'inflazione *di Amedeo Balbi*

22 Homo sapiens
Dove incontrammo i Neanderthal *di Giorgio Manzi*

90 Rudi matematici
Prima della primavera
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

92 Libri & tempo libero

96 Povera scienza
Troppo terrestri per essere alieni *di Paolo Attivissimo*

97 Pentole & provette
Risi della (recente) tradizione *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

23 OGM ancora più sicuri
24 I confini del micromondo
24 Il micro-anello italiano per fotoni entangled
25 Dalle pinne alle zampe
25 Come è nata la gravidanza nei mammiferi
26 Il difficile adattamento del salmone
26 I danni di frane e inondazioni nel 2014
27 Abile come un australopiteco
27 Il senso dei pulcini per i numeri nello spazio
28 Brevissime

Image Source/Corbis (*uomo e donna*); Joseph Sohm, Visions of America/Corbis (*cartellone*); © Ted Horowitz/Corbis (*arancini*)

LA PIÙ GRANDE MOSTRA SUL MAESTRO DEL RITRATTO

Boldini

LO SPETTACOLO DELLA MODERNITÀ

FORLÌ
MUSEI SAN DOMENICO
1 FEBBRAIO
14 GIUGNO 2015

INFORMAZIONI E PRENOTAZIONI MOSTRA
tel. 199 15 11 34

riservato gruppi e scuole
tel. 0543 36 217
mostraboldini@civita.it

CATALOGO
SilvanaEditoriale

ORARIO DI VISITA
da martedì a venerdì
9.30 - 19.00

sabato, domenica
e giorni festivi
9.30 - 20.00

lunedì chiuso

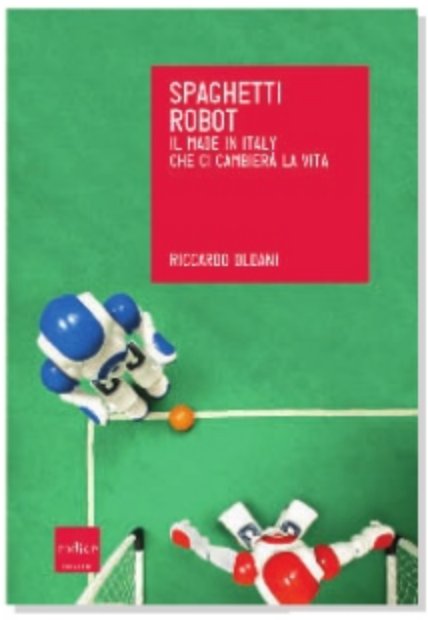
FONDAZIONE CASSA DEI RISPARMI DI FORLÌ
Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì

Comune di Forlì
in collaborazione
con
Comune di Forlì

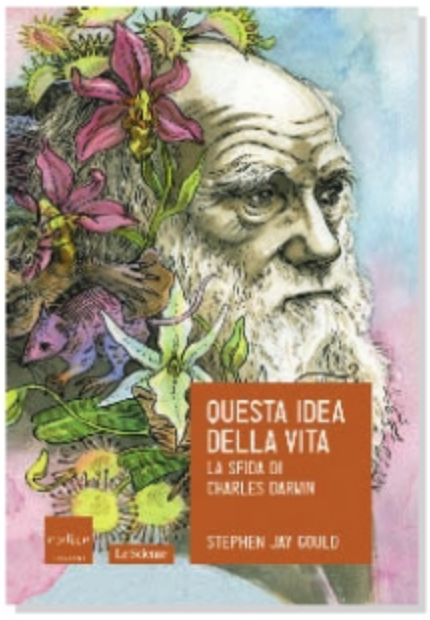
CODICE EDIZIONI: LA SCIENZA, OVUNQUE

Secondo me la coscienza della nostra condizione è anche la nostra più grande speranza, e ci aiuterà a sopravvivere sul nostro fragile pianeta.
Possa questa idea della vita fiorire e aiutarci a comprendere i limiti e le lezioni della scienza: noi continueremo a chiederci perché ci troviamo qui.

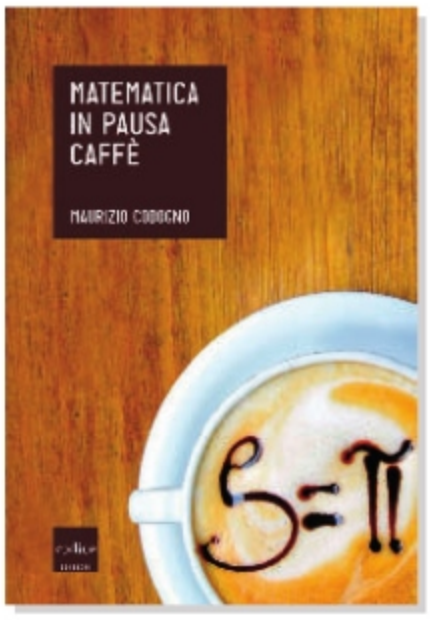
Stephen Jay Gould



RICCARDO OLDANI
SPAGHETTI ROBOT
IL MADE IN ITALY CHE CI CAMBIERÀ LA VITA
pp. 224 | euro 15,00



STEPHEN JAY GOULD
QUESTA IDEA DELLA VITA
LA SFIDA DI CHARLES DARWIN
pp. 304 | euro 17,90



MAURIZIO CODOGNO
MATEMATICA IN PAUSA CAFFÈ
pp. 176 | euro 13,00

EDWARD O. WILSON
IL SIGNIFICATO DELL'ESISTENZA UMANA
pp. 176 | euro 14,90

GORDON SHEPHERD
ALL'ORIGINE DEL GUSTO
LA NUOVA SCIENZA DELLA NEUROGASTRONOMIA
pp. 336 | euro 25,00

LISA SIGNORILE
IL COCCODRILLO COME FA
LA VITA SESSUALE DEGLI ANIMALI
pp. 176 | euro 17,00

facebook.com/in.codice
twitter.com/codice_codice
pinterest.com/codice_codice

info@codiceedizioni.it | codiceedizioni.it

di Marco Cattaneo

I maghi della pioggia

Perché in Italia chiunque può dirsi meteorologo

Quando parliamo di cose italiane, sembra sempre che lo sport nazionale sia lamentarsi. In realtà avremmo ottime ragioni per parlare delle nostre eccellenze, e lo facciamo volentieri. Però fin troppo spesso andiamo a sbattere contro paradossi istituzionali scoraggianti. Come se il paese fosse costruito apposta per dare sfogo al peggior bizantismo.

Un esempio illuminante lo trovate a pagina 46. È in un riquadro di un articolo che parla di come stiamo elaborando una strategia di adattamento ai cambiamenti climatici, con fenomeni meteorologici estremi che già oggi alterano le nostre attività produttive, causano danni al territorio, provocano vittime. E da ultimo minacciano anche il nostro sterminato patrimonio culturale.

Ebbene, in quelle poche righe Guido Visconti – accademico dei Lincei, uno dei più celebri fisici dell'atmosfera italiani – delinea una situazione inquietante. Insieme alla Grecia, l'Italia è l'unico paese europeo ad avere solo un servizio meteo militare e non uno civile.

Ma non basta. Ancora oggi non esiste in Italia una formazione specifica in meteorologia. Non c'è una laurea, e in alcuni atenei non c'è nemmeno un corso in fisica dell'atmosfera. Al punto che persino la Serbia ha una formazione meteorologica migliore. «In Italia – rincara la dose Carlo Cacciamani, direttore del Servizio idro-meteo-clima dell'ARPA Emilia Romagna – chiunque può dirsi meteorologo». Più o meno come chiunque può dirsi mago, o astrologo. Parlando di meteo, l'espressione giusta potrebbe essere «mago della pioggia».

Ma forse in un paese che vanta un numero imprecisato di corsi di laurea in «scienze della qualunque» – da scienze turistiche a scienze della mediazione linguistica (senza offesa, ma forse si potevano trovare altri nomi...) – non c'è da sorprendersi più di tanto. Siamo talmente specializzati in specializzazioni inutili che perdiamo di vista i fondamentali. O forse Visconti avrebbe più successo se proponesse un corso di laurea in scienze delle precipitazioni.

Due parole, ora, per un'anticipazione. Il mese prossimo, per il nostro appuntamento «La biblioteca delle scienze», troverete in edicola *Una scomoda eredità*, il libro di Nicholas Wade su genetica e razze umane che ha provocato un aspro dibattito nella comunità scientifica, sfociato in una lettera a «The New York Times Book Review» in cui 140 genetisti di popolazioni affermavano che Wade ha equivocato il significato del loro lavoro.

John Lund/Blend Images/Corbis

Il libro parla, con un profluvio di documentazione, del differenziamento delle popolazioni umane avvenuto dopo l'uscita di *Homo sapiens* dall'Africa. E qualcuno ci ha visto un pericoloso spiraglio per riaprire il dibattito sulla presunta superiorità di alcune popolazioni rispetto ad altre, sebbene non fosse certo questo l'intento dell'autore.

Proprio in questo numero pubblichiamo l'appello, apparso anche sul nostro sito web, di alcuni antropologi italiani per eliminare il termine «razza» dall'articolo 3 della Costituzione. E lo condividiamo. Ma riteniamo che il dibattito scientifico non possa e non debba essere penalizzato da una questione di sensibilità politica. E il libro di Wade va letto in questa chiave.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Se la diversità è controversa

Una scomoda eredità, di Nicholas Wade, è il libro allegato ad aprile

Se parliamo di esseri umani, la razza è un costrutto sociale e non una realtà biologica, giusto? Sbagliato, secondo *Una scomoda eredità*, un libro di Nicholas Wade che negli Stati Uniti subito dopo la pubblicazione ha provocato reazioni incandescenti e che sarà disponibile in Italia allegato a «Le Scienze» di aprile e in vendita in libreria per Codice Edizioni. La tesi di Wade, scrittore ed ex giornalista scientifico per il «New York Times», è che sia possibile definire razze umane in base alla diversa frequenza degli alleli, le forme alternative di ogni gene che compone il nostro patrimonio genetico. Oggi è possibile osservare questa variabilità nella frequenza allelica grazie al progresso delle tecnologie di sequenziamento e analisi del genoma umano, che dagli inizi del XXI secolo, quando è stata pubblicata la prima bozza del nostro patrimonio genetico, hanno fatto parecchia strada, permettendo di rilevare variazioni sempre più sottili tra i geni degli individui.

Non poteva essere altrimenti, spiega Wade, perché negli ultimi 50.000 anni il patrimonio genetico della nostra specie ha sperimentato notevoli pressioni evolutive. All'inizio di questo arco di tempo, gruppi di nostri antenati hanno lasciato l'Africa, dove la nostra specie era emersa quasi 200.000 anni fa, per diffondersi in tutto il pianeta, anche negli angoli più remoti.

In questo viaggio di conquista del territorio abbiamo esplorato e conquistato nuovi ambienti, e abbiamo sviluppato nuove strutture sociali. Non è possibile pensare che da quasi 50.000 anni nulla o quasi sia cambiato nel nostro genoma, o meglio nel genoma di gruppi umani rimasti distanti e relativamente isolati tra loro. Ecco quindi come sono emerse le differenze nelle frequenze di alleli, sono un retaggio della nostra conquista della Terra. Si tratta di variazioni di piccola entità, che tuttavia possono essere raggruppate, aprendo la strada allo studio biologico delle popolazioni umane.

L'autore invita gli scettici a osservare i risultati di analisi su raggruppamenti di individui scelti in modo casuale e basati sulle caratteristiche dei genomi: si ottiene una distribuzione che ricalca quella dei cinque continenti. Questa diversità potrebbe avere qualche rapporto con differenze nei tratti cognitivi e comportamentali, come sembra suggerire la storia delle differenti civiltà emerse dopo l'uscita dall'Africa dei nostri antenati. Anche in questo caso, ovvero nell'ambito prettamente storico e culturale della nostra specie, è possibile identificare una certa diversità sovrapponibile ad aree geografiche, a cui è accompagnata anche una diversità nell'evoluzione delle strutture sociali e istituzionali. Su questo passaggio tuttavia Wade è molto più cauto, ed è anche consapevole del carattere assai speculativo dell'argomentazione, vista la scarsità dei dati disponibili.

Su un punto tuttavia l'autore non transige: non c'è alcun motivo per collocare le razze umane su una scala di valori, dalla peggiore alla migliore. Questo è razzismo, ed è una degradazione della politica e della società, che nulla ha a che vedere con la scienza. Mentre per Wade non dovrebbe essere etichettato in questo modo infamante lo studio delle sottili differenze evolutive osservate nelle diverse popolazioni umane, che poi sarebbero l'equivalente delle razze.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati). Possono anche acquistare il volume **Esperimenti scientifici** al prezzo di € 9,90 incluso il prezzo di spedizione e il DVD **Odifreddi racconta Gödel e Turing** al prezzo di € 8,90 incluso il prezzo di spedizione. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

Olly/Shutterstock

Storia di due padri dell'informatica

In edicola a richiesta a marzo il DVD *Gödel e Turing*, di Piergiorgio Odifreddi

Computer, tablet e smartphone, e con loro i mondi virtuali del Web e dei social network accessibili a miliardi di persone, non sarebbero tra noi oggi senza il contributo intellettuale di Kurt Gödel e Alan Turing. La storia di queste due grandi menti del recente passato e del loro ruolo cruciale nello sviluppo delle tecnologie di calcolo e comunicazione è raccontata da Piergiorgio Odifreddi in *Gödel e Turing. La nascita del computer e della società dell'informazione*, un DVD con allegato un libretto di 20 pagine che può essere acquistato a marzo a soli 8,90 euro in più rispetto al prezzo della rivista.

Turing nasce a Londra nel 1912, e fin dalla giovane età è interessato a scienza e matematica. Questa passione lo porta a iniziare la carriera come matematico al King's College all'Università di Cambridge nel 1931, con una parentesi alla Princeton University negli Stati Uniti tra il 1936 e il 1938, quando in Europa ormai aleggia lo spettro della guerra. Alla metà degli anni trenta Turing definisce il primo prototipo di computer, la cosiddetta «macchina di Turing».

Il matematico britannico intuisce che per far risolvere un problema a una macchina si deve suddividere l'istruzione fornita in una serie di istruzioni più semplici. È una strategia che può suonare familiare oggi, basta considerare lo schema di un algoritmo alla base di un programma informatico. All'epoca di Turing però l'intuizione è rivoluzionaria, e permette un salto di qualità in un compito che, nei secoli precedenti, era stato portato a termine da strumenti e macchine rudimentali solo per pochi, specifici problemi. La proposta di Turing, ricorda Odifreddi nei 90 minuti di filmato, sfrutta un'altra perla teorica di quegli anni, il teorema di incompletezza di Kurt Gödel. Ritenuto uno dei più grandi logici del XX secolo, se non addirittura il più grande in assoluto, Gödel nasce nel 1906 a Brno, nell'attuale Repubblica Ceca. Iscrittosi all'Università di Vienna nel 1923, ottiene il dottorato in matematica nel 1929. Due anni dopo pubblica il suo risultato più famoso, il teorema sfruttato da Turing, il quale così riesce a sancire una sorta di «legge naturale» che fissa limiti invalicabili per il calcolo automatico a cui nemmeno i computer attuali possono sfuggire. I risultati teorici di Turing saranno poi usati alla metà degli anni quaranta dal matematico John Von Neumann per sviluppare l'architettura dei primi calcolatori alla base dei computer di oggi.

Gödel e Turing non possono sfuggire al dramma della seconda guerra mondiale, una catastrofe che ha impatti diversi sulle vite dei due geni. Facendo la spola tra Regno Unito e Stati Uniti, Turing lavora con successo alla decifrazione dei codici usati dai nazisti per comunicare in modo criptato usando la macchina Enigma. Finita la guerra, nel 1950 scrive un articolo pubblicato poi nel 1969 in cui descrive il test che oggi porta il suo nome. Si tratta di una sorta di esperimento mentale con cui stabilire se una macchina è intelligente o meno, ed è una pietra miliare nell'ambito di ricerca dell'intelligenza artificiale. Gödel invece con l'avvento del nazismo decide di abbandonare l'Europa, e nel 1940 si trasferisce stabilmente all'Institute of Avdanced Studies di Princeton. Lì conosce Albert EInstein, con il quale nascerà una salda amicizia.

Ma non di sola scienza è fatta la vita degli uomini, nemmeno quella dei due geni raccontati da Odifreddi, le cui vicende private assumono via via un carattere tragico. All'inizio degli anni cinquanta, Turing è condannato per la sua omosessualità, illegale nel Regno Unito, e costretto a sottoporsi a una terapia ormonale e visite periodiche dallo psichiatra. Forse è la molla che fa scattare l'idea del suicidio, avvenuto nel 1954, come lascia intendere il ritrovamento del suo corpo senza vita con accanto una mela morsicata e un contenitore di cianuro. Gödel muore nel 1978 all'ospedale di Princeton per denutrizione e debilitazione derivanti da disturbi della personalità. Due destini incrociati che oggi rivivono ogni volta che accendiamo uno smartphone o inviamo un messaggio elettronico.

RISERVATO AGLI ABBONATI

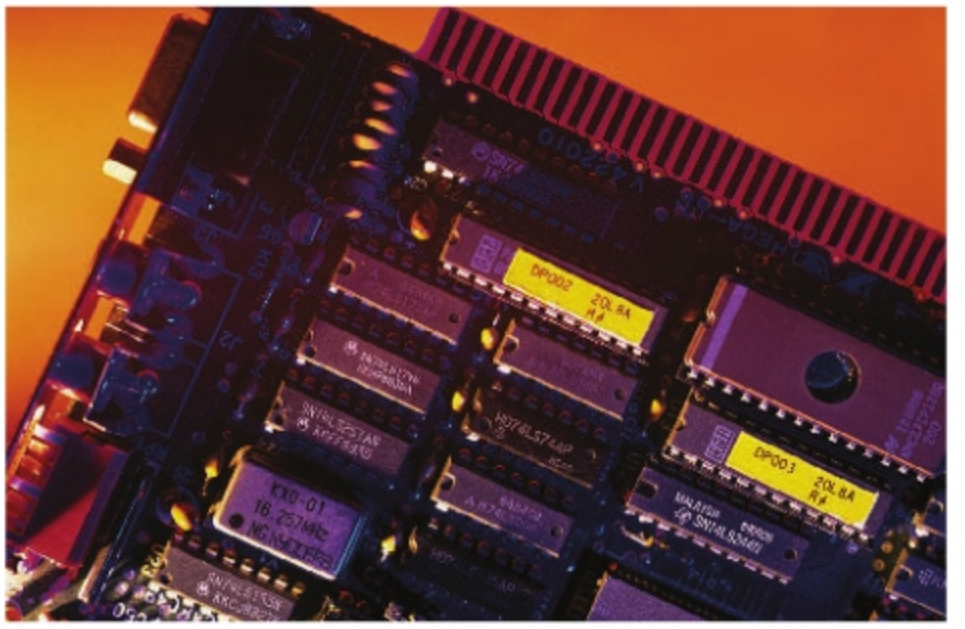
Gli abbonati possono acquistare l'intera collana dei volumi **Le frontiere della scienza** al prezzo scontato di €33,00 anziché €41,40 telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni non abilitati) oppure scrivendo all'indirizzo e-mail lescienzevendite@somedia.it. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).

a cura di Giovanni Spataro

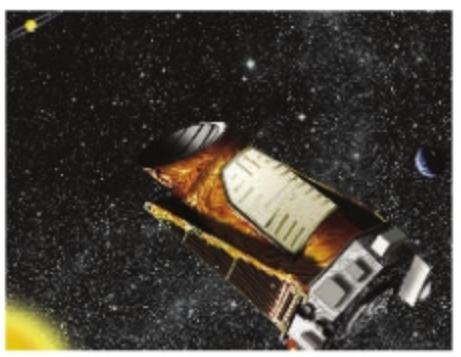
Il transistor al silicene

Un materiale analogo al grafene apre nuove strade a processori più potenti

Nella corsa a superare i limiti dei microchip attuali, che devono essere sempre più piccoli per aumentare la potenza di calcolo (si veda *Microchip dei prossimi 20 anni* in «Le Scienze», n. 499, marzo 2010), entra in gioco il silicene, un materiale dallo spessore monoatomico composto da un reticolo di atomi di silicio. Su «Nature Nanotechnology», ricercatori dell'Istituto di microelettronica e microsistemi del CNR di Agrate Brianza, guidati da Alessandro Molle, hanno annunciato di aver ottenuto un transistor al silicene, grazie a una nuova tecnica di produzione che ha superato difficoltà legate alla estrema instabilità all'aria di questo materiale analogo del grafene, composto un da reticolo esagonale di carbonio spesso un solo atomo. Il transistor al silicene ha ancora una vita troppo breve per pensare ad applicazioni immediate, ma la prova di fattibilità ottenuta apre strade prima impensabili da percorrere.



Oh, Kepler!



Sguardo su altri mondi. Illustrazione del telescopio Kepler in orbita eliocentrica a caccia di pianeti di altri sistemi stellari.

Sarà pure al lavoro a regime ridotto, complice un guasto a un giroscopio nel 2013 che ne ha compromesso il sistema di puntamento, ma il telescopio spaziale Kepler, lanciato nel 2009 in orbita eliocentrica per scoprire pianeti in altri sistemi stellari del nostro vicinato galattico (si veda *Verso nuove Terre* in «Le Scienze», n. 413, gennaio 2003), continua a regalare scoperte interessanti.

Analizzando i dati raccolti da Kepler negli anni passati, Bill Chaplin, astrofisico dell'Università di Birmingham, ha identificato cinque pianeti di dimensioni tra quelle di Mercurio e di Venere che orbitano in un sistema stellare indicato come Kepler-444, a 117 anni luce dalla Terra, formatosi 11,2 miliardi di anni fa, quando la Via Lattea era nella fase primordiale. Dal big bang erano trascorsi «solo» 2,6 miliardi di anni e la scoperta, come sottolineato su «Astrophysical Journal», suggerisce che la formazione di pianeti di classe terrestre potrebbe essere iniziata molto presto nella storia della nostra galassia.

I pianeti di Kepler-444 non si trovano nella zona abitabile, ovvero a una distanza dalla stella che permetta la presenza di acqua allo stato liquido. Si trovano invece in questa posizione privilegiata per la vita otto pianeti con raggio poco più grande di quello della Terra identificati sempre grazie all'eredità di dati di Kepler. La scoperta di questi mondi, di cui due i più simili alla Terra tra gli esopianeti noti, è stata annunciata da Guillermo Torres dell'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics al recente meeting dell'American Astronomical Society.

Cesio da Fukushima

Tra i tanti allarmi generati dall'incidente alla centrale nucleare di Fukushima-Daiichi a marzo 2011 causato da un terremoto e successivo maremoto (si veda *Fukushima, anatomia di un incidente* in «Le Scienze», n. 514, giugno 2011) uno riguarda-

Nel 2012. La centrale nucleare di Fukushima-Daiichi un anno dopo il disastro, con ancora i detriti trascinati dallo tsunami.

va l'eventualità di una contaminazione della costa canadese dell'Oceano Pacifico settentrionale.

Ebbene, come hanno mostrato John N. Smith e colleghi del Bedford Institute of Oceanography, Fisheries and Oceans a Dartmouth in Canada, sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», il cesio radioattivo disperso in mare a causa dell'incidente è arrivato sulle coste canadesi nei primi mesi del 2014. Questo evento ha portato a un raddoppio del valore di fondo della radioattività dovuto ai *fall out* dei test nucleari durante la guerra fredda, arrivando a due becquerel per metro cubo. Il picco è previsto tra il 2015 e il 2016, ma comunque il valore della radioattività nell'oceano rimarrà al di sotto della soglia di rischio per esseri umani e ambiente.

Liberiamo gli orfani

Nel 2000 a Bucarest è iniziato uno studio ancora in corso, il Bucharest Early Intervention Project, sullo stato di salute psicologica e cognitiva dei bambini abbandonati dai genitori in orfanotrofi, un'eredità del regime comunista che nel 1966 bandì aborto e controllo delle nascite per far crescere la popolazione (si veda *Il dolore del bambino abbandonato* in «Le Scienze», n. 538, giugno 2013). I primi risultati avevano mostrato che i bambini chiusi per i primi due anni in istituto avevano QI e attività cerebrale più bassi rispetto a quelli in affidamento e ai non istituzionalizzati.

Ora risultati pubblicati su «JAMA Pediatrics» hanno mostrato che i bambini degli orfanotrofi hanno meno materia bianca cerebrale rispetto a soggetti di controllo in aree del cervello coinvolte in attenzione, elaborazione delle emozioni e capacità cognitive generali. Ma c'è una buona notizia: questa perdita potrebbe essere reversibile, come suggeriscono scansioni cerebrali su orfani usciti dagli istituti all'età di due anni.

Image Source/Corbis (*scheda madre*); cortesia NASA/Ames/JPL-Caltech (*Kepler*); © Yoshikazu Tsuno/Jana Press (*Fukushima-Daiichi*)

Pianificazione delle Terapie Contro il Cancro

Fujifilm apre nuovi orizzonti in medicina grazie alle soluzioni d'avanguardia per l'analisi delle immagini 3D.

Nonostante i progressi compiuti dalla medicina, il numero di decessi causati dal cancro è ancora ingente: nel 2012, circa 8,2 milioni di persone in tutto il mondo hanno perso la vita a causa di questa malattia.* Se fosse possibile diagnosticare il cancro in maniera affidabile ed asportarlo chirurgicamente con precisione, alcune di queste vite potrebbero essere risparmiate.

Fujifilm ha elaborato una tecnologia di analisi delle immagini 3D che consente di convertire le immagini di TAC, RM e altre tecniche diagnostiche in rendering tridimensionali, così da permettere una diagnosi precisa della malattia a livello polmonare e addominale. Grazie alla tecnologia proprietaria di riconoscimento delle immagini, già utilizzata da Fujifilm nelle macchine fotografiche digitali, la tecnologia 3D consente l'estrazione e l'analisi intelligente delle immagini tridimensionali di organi, vasi sanguigni e altre strutture anatomiche. Oggi, queste preziose informazioni permettono ai medici di valutare con maggiore accuratezza le varie opzioni terapeutiche. Fujifilm Medical System intende estendere l'uso di tali strumenti di pianificazione terapeutica anche ad altri organi e strutture anatomiche, puntando ad un futuro in cui sia possibile raccogliere con successo anche le più complesse sfide chirurgiche.

* Fonte: Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M., Dikshit R., Eser S., Mathers C., Rebelo M., Parkin DM., Forman D., Bray F. (2013). GLOBOCAN 2012 v1.0, Incidenza del cancro e mortalità nel mondo: CancerBase CIRC (Centro internazionale per la ricerca sul cancro) N.11 [Internet]. Lione, Francia: Agenzia Internazionale per la Riserva sul Canco. Consultabile su http://globocan.iarc.fr. È importante sottolineare come CIRC, organo dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, non sostiene alcun marchio, produttore o prodotto commerciale.

FUJIFILM

Value from Innovation™

FUJIFILM, FUJIFILM Value from Innovation sono marchi registrati di FUJIFILM Corporation. © 2015 FUJIFILM Corporation. Tutti i diritti riservati.

FUJIFILM ITALIA S.p.A. - www.fujifilm.it - info.hit@fujifilm.it

di Giovanni Destro Bisol e Maria Enrica Danubio

Razze umane e Costituzione

Nell'articolo 3 della nostra carta costituzionale compare il termine «razza», ma ha ancora senso alla luce delle recenti scoperte di genetica e genomica?

Noi antropologi non la pensiamo sempre alla stessa maniera. Nulla di strano. Per comprendere appieno l'evoluzione umana è fondamentale trovare una sintesi tra linee di evidenza differenti, come quelle paleontologiche, genetiche e culturali. In un percorso conoscitivo così ambizioso e sofisticato è inevitabile che vi siano zone grigie. E da queste facilmente possono nascere interpretazioni differenti.

Su un punto però ci troverete tutti d'accordo: la diversità biologica che osserviamo oggi all'interno e tra le popolazioni umane non rappresenta solo un'opportunità per studiare alcuni fondamentali processi dell'evoluzione, ma anche un elemento che riflette la nostra organizzazione sociale e i suoi mutamenti nel tempo. Si tratta solo di una teoria scientifica? Si direbbe di no, visto che un riferimento esplicito alla diversità umana trova posto nella parte più importante della nostra Costituzione, quella dei principi generali, che all'articolo 3 recita:

«Tutti i cittadini hanno pari dignità sociale e sono eguali davanti alla legge, senza distinzione di sesso, di razza, di lingua, di religione, di opinioni politiche, di condizioni personali e sociali».

Un inno all'uguaglianza, un atto esplicito contro ogni discriminazione. Certo. Ma non vi sembra stonata quella parola «razza»? Il termine porta con sé un'idea apparentemente semplice ed efficace: la diversità umana può essere descritta da pochi gruppi, come per esempio Bianchi (Europei), Neri (Africani) e Gialli (Asiatici), molto diversi tra loro e, a un tempo, omogenei al loro interno. Questo schema, secondo alcuni, potrebbe essere esteso non solo ai caratteri ereditari, ma addirittura alle capacità cognitive e alle qualità morali.

Ha ancora senso tutto questo? Non si tratta certo di entrare in polemica con i padri costituenti: la scelta del termine razza era in linea con i tempi nell'Italia del 1947. Ma in 68 anni molto è cambiato nella scienza come nella società. I tempi sono finalmente maturi per una riflessione e, forse, anche per una revisione.

Tre domande

Gli antropologi italiani da tempo hanno cominciato a interrogarsi su questa presenza ingombrante, supportati dalle nuove conoscenze sulla variabilità genetica. Una spinta decisiva per fare finalmente uscire il confronto da una dimensione puramente accademica è venuta con il mutamento demografico e sociale determinato dai flussi migratori degli ultimi decenni. E proprio in questi ultimi mesi il dibattito è stato riacceso dall'appello per l'abolizione del termine razza dalla Costituzione lanciato da Gianfranco Biondi e Olga Rickards. Alla fine di gennaio, la stessa proposta è stata rilanciata dalla più grande università italiana, «la Sapienza» di Roma. E nel frattempo qualcosa sembra stia iniziando a muoversi anche nel mondo politico, con le prime richieste di prendere in considerazione modifiche a livello costituzionale.

Se son rose fioriranno... verrebbe da dire. Ma senza perdere l'onda, insieme ai colleghi del direttivo dell'Istituto italiano di antropologia, abbiamo voluto intanto ridefinire il problema attraverso un radicale cambio di prospettiva: tenere insieme gli aspetti scientifici con quelli culturali e sociali piuttosto che ragionare per «compartimenti stagni».

A questo scopo, si è reso necessario decostruire il quesito essenziale – abolire o mantenere la parola razza nella costituzione – in tre distinte domande.

Il concetto di razza descrive adeguatamente la distribuzione della diversità umana?

No! Perché veicola un'idea di strutturazione della diversità genetica umana che non ha base scientifica. Ma c'è di più: introduce elementi infondati e fuorvianti anche per una visione comune della diversità culturale. Tutto questo per due ordini di motivi. Grazie al rilevante e incessante progresso degli studi scientifici nel campo della genetica e della genomica, è stato chiarito che la diversità, davvero ridotta, che si osserva nella nostra specie non può essere descritta da poche unità discrete, esclusive e omogenee, come le razze appunto. Le unità evolutive vanno invece identificate in moltissimi insiemi di individui che condividono uno spazio, un tempo e un sistema sociale: le popolazioni.

L'Italia stessa, con una variabilità genetica tra gruppi per certi versi confrontabile con quella che si osserva tra le popolazioni europee, dimostra quanto sia illusorio sperare di descrivere la diversità umana usando poche e semplici etichette.

Non meno importante, numerosi studi sugli effetti della selezione naturale sulla variabilità genetica ci hanno mostrato che quei tratti fisici che sono alla base della percezione in termini razziali della diversità, come il colore della pelle, sono il risultato di adattamenti all'ambiente a livello di specifici geni. Le loro differenze non hanno, invece, nessuna relazione con capacità cognitive, comportamenti sociali o qualità morali. Questo dato assume una particolare importanza alla luce del fatto che il termine razza viene usato anche per stigmatizzare differenze culturali, come se queste fossero il prodotto di differenti «abilità» intellettive o predisposizioni morali. Data la crescente connotazione pluriculturale delle società europee, è evidente quanto sia importante contrastare questi pericolosi corto circuiti tra nuove forme di intolleranza e rigurgiti di determinismo genetico.

Quali sono i pro e i contro di un'iniziativa per modificare la Costituzione?

Per quanto solide possano essere le sue basi scientifiche e culturali, tradurre un'istanza in un cambiamento «infrastrutturale» dell'ordinamento costituzionale, presenta almeno due importanti incognite.

Primo, pensate alle difficoltà procedu-

Giovanni Destro Bisol, insegna antropologia e biodiversità umana alla «Sapienza» Università di Roma, è direttore dell'Istituto italiano di antropologia
Maria Enrica Danubio, insegna antropologia ed ecologia umana all'Università di L'Aquila, fa parte del direttivo dell'Istituto italiano di antropologia

Facce della stessa specie. La diversità assai ridotta a livello genetico tra individui implica che la nostra specie non può essere descritta da piccole unità discrete, come le razze.

rali e ai timori nella politica e nell'opinione pubblica che potrebbe provocare un'eventuale modificazione nei principi fondamentali della Costituzione. Secondo, l'iniziativa potrebbe essere percepita come un tentativo sterile, concentrato su una questione squisitamente terminologica, ma che non tocca la sostanza del problema.

Siamo ancora convinti di voler giocare la partita? Sì, ma a due condizioni.

La prima è essere pienamente consapevoli dell'importanza dell'obiettivo. Rimuovere ogni riferimento a una visione razziale della diversità umana dal documento che ispira il nostro vivere civile è sicuramente importante per la sua valenza simbolica. Ma lo è ancora di più perché un atto istituzionale così incisivo toglierebbe forza e legittimità a un termine che veicola pregiudizi sotto un travestimento pseudo-scientifico.

La seconda è avere ben chiaro che lanciare iniziative di questo tipo è condizione necessaria ma non sufficiente: l'impegno non finisce mettendo una firma in calce a un documento. Al contrario, inizia proprio da lì. Nelle nostre attività educative e formative dobbiamo cercare di mettere a disposizione di una platea sempre più ampia gli strumenti migliori per interpretare senza preconcetti la diversità umana. Sensibilizzare alla necessità del cambiamento del termine tutti coloro che, a vario titolo, sono coinvolti nella divulgazione, sia scientifica che culturale. Cogliere questa occasione per superare l'antica, ma sempre viva, dicotomia tra natura e cultura, tra antropologia «fisica» e quella culturale.

Il termine «razza» andrebbe semplicemente abolito o sostituito?

A uno sguardo attento, la presenza del termine razza nel dettato costituzionale si presta a due letture di segno opposto. Da una parte, essa permette di stabilire il principio che la diversità tra gruppi umani non può essere motivo di discriminazione. Provate a rileggere l'articolo 3 senza il termine razza. Eliminandolo, si potrebbe ottenere un risultato paradossale: far sembrare che la razza, scomparsa da quell'elenco, possa tornare a essere elemento di discriminazione. Dall'altra, la sua presenza riafferma implicitamente la validità dello stesso concetto di razza: «Ma come fai a negare l'esistenza della razze se stanno scritte addirittura nella Costituzione?».

Per uscire dal dilemma, è necessario introdurre termini alternativi che possano esprimere il concetto di diversità rispettandone le diverse declinazioni (biologica e culturale *in primis*) e che non sembrino evocare in alcun modo gerarchie valoriali. Per aumentarne l'efficacia, la modifica deve essere accompagnata da una dichiarazione esplicita dell'insussistenza del concetto stesso di razza e del rifiuto dei comportamenti che ne possono derivare.

Una proposta

La proposta può essere formulata in questi termini:

«Tutti i cittadini hanno pari dignità sociale e sono eguali davanti alla legge, senza distinzione di aspetto fisico e tradizioni culturali, di genere, di lingua, di religione, di opinioni politiche, di condizioni personali e sociali. La Repubblica non riconosce l'esistenza di presunte razze umane e combatte ogni forma di razzismo e xenofobia».

Consideriamo questo un primo, ma significativo, passo per contribuire a rendere la diversità elemento di coesione civile e di crescita reciproca, nel pieno rispetto dei valori stabiliti dalla nostra Costituzione.

Chiunque voglia sottoscrivere questa proposta può farlo su www.lescienze.it.

PER APPROFONDIRE

Si può sottoscrivere la proposta sul sito web di Le Scienze alla pagina: **http://forum-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2015/02/16/ce-ancora-posto-per-le-razze-umane-nella-costituzione-italiana/**.

Oltre natura e cultura. Descola P., Seid Editori, Firenze, 2014.

Confusions About Race: a New Installment. Sesardic N., in «Studies in History and Philosophy of Science», Vol. 44, pp. 287–293, 2013.

What Are We to Make of the Concept of Race?: Thoughts of a Philosopher–Scientist. Pigliucci M., in «Studies in History and Philosophy of Science», Vol. 44, pp. 272–277, settembre 2013.

La nostra storia, tra cultura e geni. Capocasa M., Pettener D. e Destro Bisol G., in «Le Scienze», n. 553, settembre 2014.

Un appello per l'abolizione del termine razza. Biondi G. e Rickards O., www.scienzainrete.it., 14 ottobre 2014.

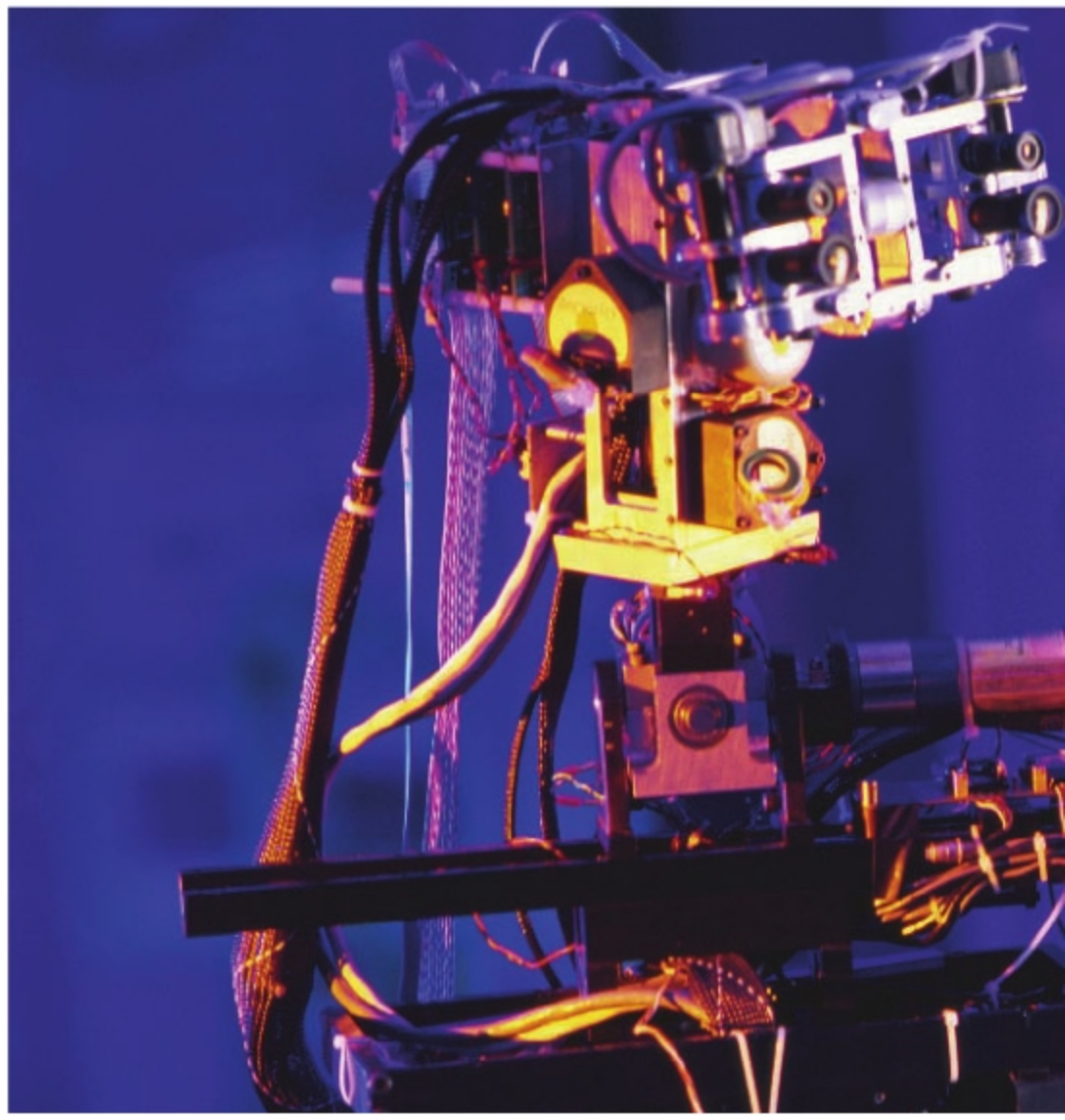
Image Source/Corbis

di Silvia Bencivelli

Il punto sull'intelligenza artificiale

Previsioni catastrofiche e scenari futuri da meraviglia accompagnano il dibattito sull'intelligenza artificiale: Francesca Rossi fa il punto della situazione

Ha cominciato Elon Musk, uno che a 12 anni già vendeva videogiochi. Uno che ha inventato il sistema di pagamento *on line* PayPal e ha fondato SpaceX e Tesla Motors, aziende con cui costruisce rispettivamente navicelle spaziali e automobili elettriche. Uno ha definito l'intelligenza artificiale come «la più grande minaccia per la sopravvivenza della nostra specie». E Stephen Hawking ha ribadito: «Il suo sviluppo potrebbe portare alla fine della razza umana». Allora gli scienziati hanno risposto con una lettera aperta targata Future of Life Institute, che ormai ha raccolto migliaia di firme. La quinta di queste firme è di Francesca Rossi, informatica all'Università di Padova e alla Harvard University e *co-chair* del comitato per le questioni etiche dell'Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI). Ma tra le altre firme si trovano di nuovo quelle di Musk, Hawking e dei vertici di Microsoft.



George Steinmetz/Contrasto (*Cog*)

Che cosa sta succedendo intorno all'intelligenza artificiale?

Succede che ultimamente ci sono state critiche e predizioni catastrofiste, sostenute anche dalla pubblicazione negli Stati Uniti del libro *Superintelligence* scritto da Nick Bostrom, filosofo dell'Università di Oxford. Predizioni di un futuro in cui le macchine potrebbero diventare talmente intelligenti da prendere il sopravvento sull'essere umano. Ma si tratta di paure, più che di previsioni basate su una reale conoscenza della ricerca.

Dall'altra parte però c'è anche chi, forse con troppa sicurezza, afferma che non succederà mai niente di simile. Per questo abbiamo scritto quella lettera: per riportare l'equilibrio nella discussione. Perché vogliamo avere un approccio costruttivo: rendiamo le nostre macchine sempre più intelligenti, ma cerchiamo di farle sicure.

Che cosa significa «sicure»?

Significa che non devono adottare comportamenti indesiderati. Non è ovvio, perché le macchine intelligenti «imparano» cioè modificano i propri comportamenti sulla base dell'esperienza, da sole. Noi dobbiamo far sì che lo facciano allineandosi ai nostri valori. Ma che cosa significa? Diverse comunità umane hanno diversi valori. Insomma, la discussione è tutt'altro che banale e lo riconosciamo. Ma lo riconoscono anche Elon Musk e Stephen Hawking. Tanto che il primo è venuto al congresso del Future of Life Institute a Portorico, a gennaio. E alla fine ha annunciato la donazione di dieci milioni di euro per la ricerca su questi temi. Va detto però che la discussione sull'intelligenza artificiale solleva questioni molto più concrete e reali dello sterminio della specie umana.

Per esempio?

Le macchine intelligenti non sostituiscono l'essere umano solo nei lavori manuali, come è successo dalla rivoluzione industriale in poi. Ma lo sostituiscono anche in lavori cognitivi complessi, come guidare un'automobile. E i tassisti che fine faranno? E i camerieri?

Alle nostre discussioni partecipano anche gli economisti perché l'avvento di queste macchine sta portando velocemente a quello che chiamano il *great decoupling*: il prodotto interno lordo cresce ma il livello di occupazione non sale. Cioè la ricchezza sarà in mano a pochi. Aumenterà il divario tra ricchi e poveri. D'altra parte verranno fuori nuovi lavori. Come governeremo il cambiamento?

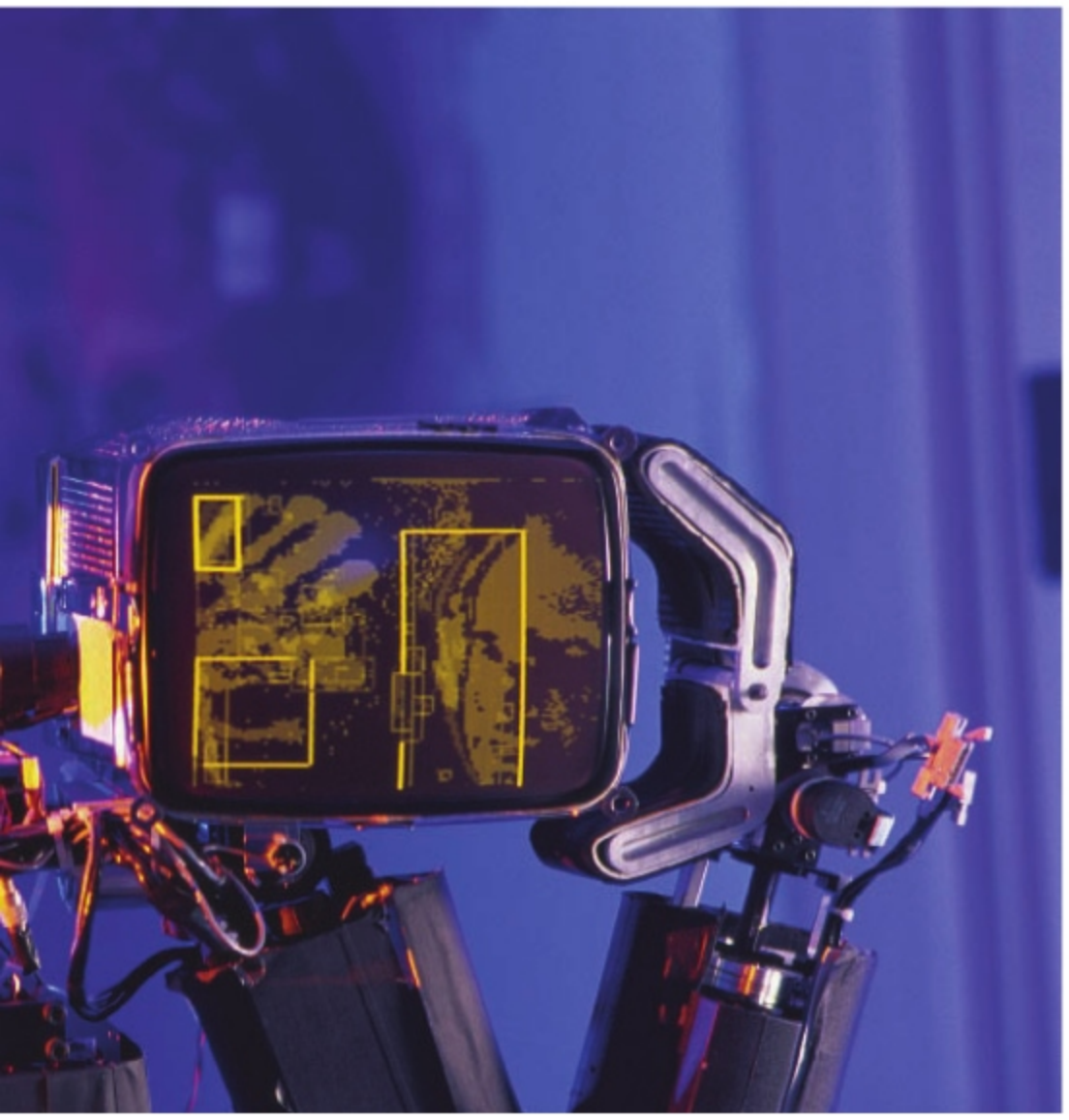
Un altro tema, forse addirittura più complesso, è quello della guerra, delle armi dotate di intelligenza artificiale.

Sì, ultimamente i nostri convegni sono molto concentrati sulle questioni etiche e quello è un punto chiave. In altre discipline, come in fisica o in biologia, aspetti tanto delicati si sono risolti con i divieti. Nell'intelligenza artificiale nessuno pensa che sia ragionevole proporre di bloccare linee di ricerca, perché ciascuna di queste può avere ricadute positive o negative. Ma il dibattito è comunque acceso.

Da una parte ci sono quelli che sostengono che non si dovreb-

CHI È

Francesca Rossi è professore di informatica all'Università di Padova, attualmente in sabbatico alla Harvard University con una fellowship del Radcliffe Institute for Advanced Study.
Conduce ricerche in intelligenza artificiale, con particolare attenzione all'uso di preferenze per personalizzare i sistemi di raccomandazione e di supporto alle decisioni collettive.
Fa parte del comitato editoriale delle maggiori riviste del suo ambito di ricerca, è *associate editor-in-chief* del «Journal of Artificial Intelligence Research».È presidente dell'International Joint Conference on Artificial Intelligence, consigliere esecutivo dell'Association for the Advancement of Artificial Intelligence, di cui co-presiede il comitato per le questioni etiche. È nel comitato scientifico del Future of Life Institute.



Tra scienza e fantascienza. Il robot umanoide Cog del Massachusetts Institute of Technology, usato per ricerche sull'intelligenza artificiale. In basso robot saldatori alla catena di montaggio di Ford Motor Company.

Cortesia Francesca Rossi (*Francesca Rossi*); Car Culture/Corbis (*robot alla catena di montaggio*)

be dare a una macchina la possibilità di decidere sulla vita di una persona. Dall'altra ci sono quelli che invece affermano che l'uso di armi autonome possa salvare numerose vite umane: intanto perché le puoi usare al posto dei soldati, ma a differenza dei soldati non muoiono. Poi perché le macchine potrebbero essere più controllabili di un ragazzo spaventato. Naturalmente questo dibattito deve essere condotto in scenari di politica internazionale e non coinvolge solo noi ricercatori.

Quali altri sono gli aspetti dell'intelligenza artificiale che coinvolgono l'etica?

Per esempio la privacy. Più condividiamo le nostre informazioni con le macchine e meglio queste ci aiutano. Però, soprattutto dopo il caso Snowden, le nostre informazioni le diffondiamo con cautela. Bisognerà trovare un compromesso. Analogamente, dovremo capire come gestire la collaborazione tra essere umano e macchina. Già adesso se ci si scarica il cellulare ci sentiamo persi. Immaginiamo che cosa sarà quando la nostra simbiosi sarà ancora più stretta.

Poi c'è la questione legale. Sia Google sia Tesla Motors di Musk stanno progettando automobili che andranno da sole, senza guidatore. Ma prima di farle girare per le strade deve essere chiaro di chi è la responsabilità se causano un incidente.

Nel campo dell'intelligenza artificiale il legame con il settore privato è forte. Che cosa comporta?

Sì, da qualche anno si lavora con grandissimi investimenti da parte delle aziende private e tanti di noi collaborano con loro in maniera stretta. Si capisce il perché: Google mette a disposizione una quantità incredibile di dati su cui testare gli algoritmi e d'altra parte lavorare con Google ti dà la possibilità di avere un impatto sulla vita di miliardi di persone.

Anche nel settore privato però si è attenti alle ricadute sociali delle tecnologie. Eric Horvitz di Microsoft Research, ex presidente dell'Association for the Advancement of Artificial Intelligence, è la firma numero tre della nostra lettera e ha appena finanziato e lanciato il progetto AI100, che avrà come base la Stanford University, per valutare gli impatti della ricerca sull'intelligenza artificiale sulle nostre vite nel corso di un secolo.

Ecco, direi che alla fine siamo tutti d'accordo. Le macchine saranno sempre più presenti nella nostra vita e ne miglioreranno tantissimo la qualità: nelle comunicazioni, nei trasporti, nella salute. Tuttavia dobbiamo cominciare da subito a trattarle con la giusta cautela. Anche per questo stiamo iniziando a lavorare sulla sensibilizzazione degli scienziati, perché per molti di noi è facile limitarsi a curare gli aspetti scientifici e tecnici della ricerca, però non dovremmo mai dimenticare di pensare anche alle conseguenze di quello che si fa.

di Letizia Gabaglio

In difesa della sicurezza alimentare

L'azienda triestina Tecna realizza kit di rilevazione delle micotossine e degli allergeni, ed è leader nel mercato dei test rapidi per contaminanti chimici

Uno *spin-off* – un'azienda cioè che prende una parte del *know-how* sviluppato da una precedente esperienza e la mette meglio a frutto – *ante litteram* e di quelli di cui di solito si parla poco. È la storia di Tecna, nata nel 1994 da un'idea di Maurizio Paleologo, biologo che aveva passato alcuni anni a lavorare alla realizzazione di test rapidi per la rilevazione di ormoni anabolizzanti nelle carni.

«L'Unione Europea è sempre stata all'avanguardia nella tutela della sicurezza alimentare, vietando per prima, già negli anni Ottanta, l'impiego di ormoni in zootecnia», spiega Paleologo, direttore generale di Tecna. «I test tradizionali funzionano, ma per ottenere un risultato ci vogliono molti giorni e per le aziende non è sostenibile. Da qui l'idea di realizzare test rapidi a cui un'azienda di Gorizia mi chiese di lavorare nel 1988». Il giovane ricercatore si mette al lavoro e nel giro di un anno i kit sono pronti, ma poi l'azienda inizia a navigare in cattive acque e Paleologo pensa di salvare quanto di buono era stato fatto fino a quel momento. «I primi anni a Gorizia li ho passati in laboratorio ma poi, quando le cose hanno cominciato a peggiorare, mi hanno chiesto di affiancare i manager, così ho capito che cosa serviva e che cosa non serviva per mandare avanti un'impresa».

Forte della sua esperienza, il giovane a questo punto convince una collega a buttarsi in una nuova avventura e fonda Tecna. Siamo al metà degli anni novanta e la nuova azienda trova il suo «nido» nell'AREA Science Park di Trieste. «Quando siamo arrivati abbiamo visto che c'erano laboratori pre-attrezzati, e abbiamo avuto la possibilità di prendere in affitto macchinari. Insomma, l'ambiente era l'ideale per noi. Anche perché ai ricercatori piace stare dove si fa ricerca, e in questo senso AREA è il posto giusto», ricorda il biologo. All'inizio i due soci cercano finanziatori ma poi capiscono che, almeno in quella fase, non ce n'era bisogno. «Ho venduto la mia macchina, racimolato un po' di soldi dagli amici e siamo partiti. È ovvio che chi lavora nel settore farmaceutico ha bisogno di grandi finanziamenti, ma nel nostro campo non era indispensabile. Noi siamo partiti con l'equivalente di 10.000 euro», afferma Paleologo.

Vent'anni dopo

Da quel momento sono passati vent'anni e oggi Tecna è leader nel mercato dei test rapidi per l'individuazione di contaminazioni chimiche negli alimenti. Il 30-40 per cento del fatturato viene dai kit per la valutazione della presenza di aflatossina del latte, la preoccupazione principale delle aziende latteo-casearie. «Le vacche da latte vengono alimentate per il 30 per cento con il mais che, in condizioni di siccità, viene attaccato da un fungo che produce l'aflatossina B1», spiega Paleologo. «Gli animali mangiano questo mais e una piccola quota di contaminante passa anche nel latte. Per allevatori e produttori di latte e formaggio è un vero incubo, soprattutto da 10-15 anni a questa parte. Ma dal mio osservatorio posso dire che le aziende sono molto attente».

Piccole e grandi imprese che lavorano con latte, cereali, caffè, vino, spezie, o che vogliano essere sicure che nei loro prodotti non ci siano tracce di allergeni come glutine o uova e che vogliano eseguire i test «in casa», senza ricorrere a laboratori esterni, a cui si aggiungono i laboratori degli istituti zooprofilattici delle diverse Regioni. Sono questi i clienti di Tecna: «Si tratta di un mercato piuttosto limitato perché la maggioranza delle aziende ricorre

LA SCHEDA

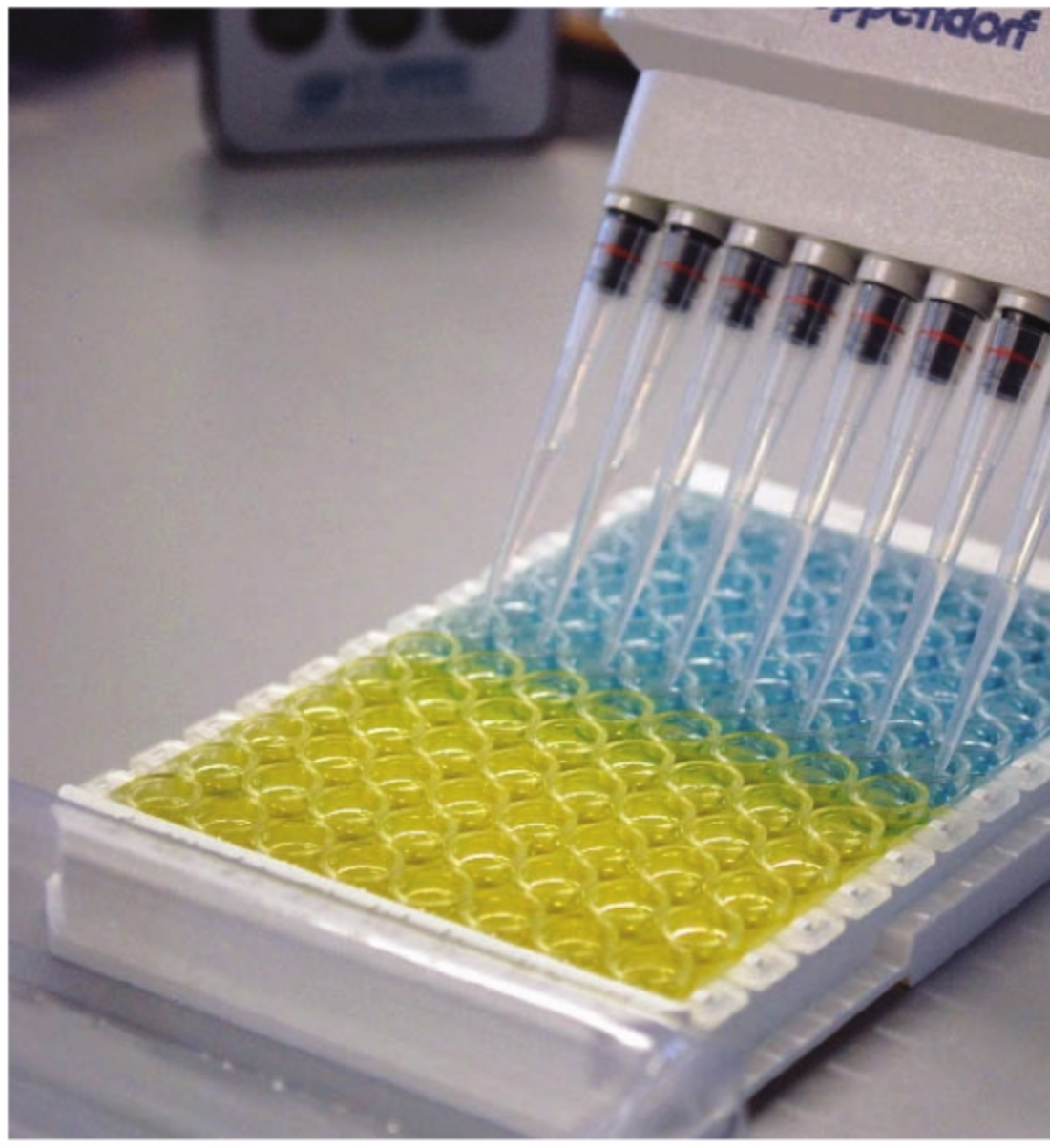
Tecna

Fatturato
2,3 milioni di euro

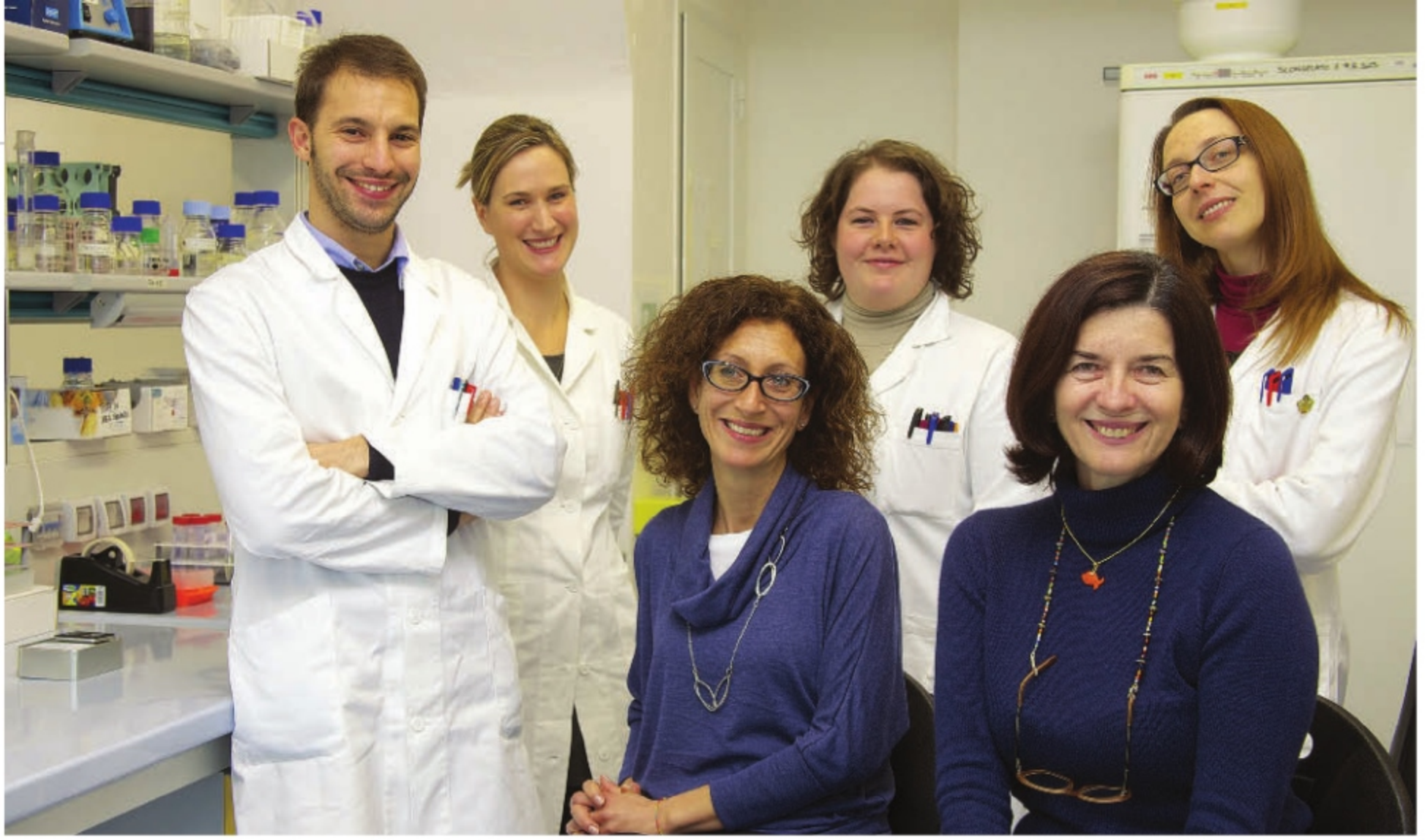
Investimenti in ricerca
0,4 milioni di euro

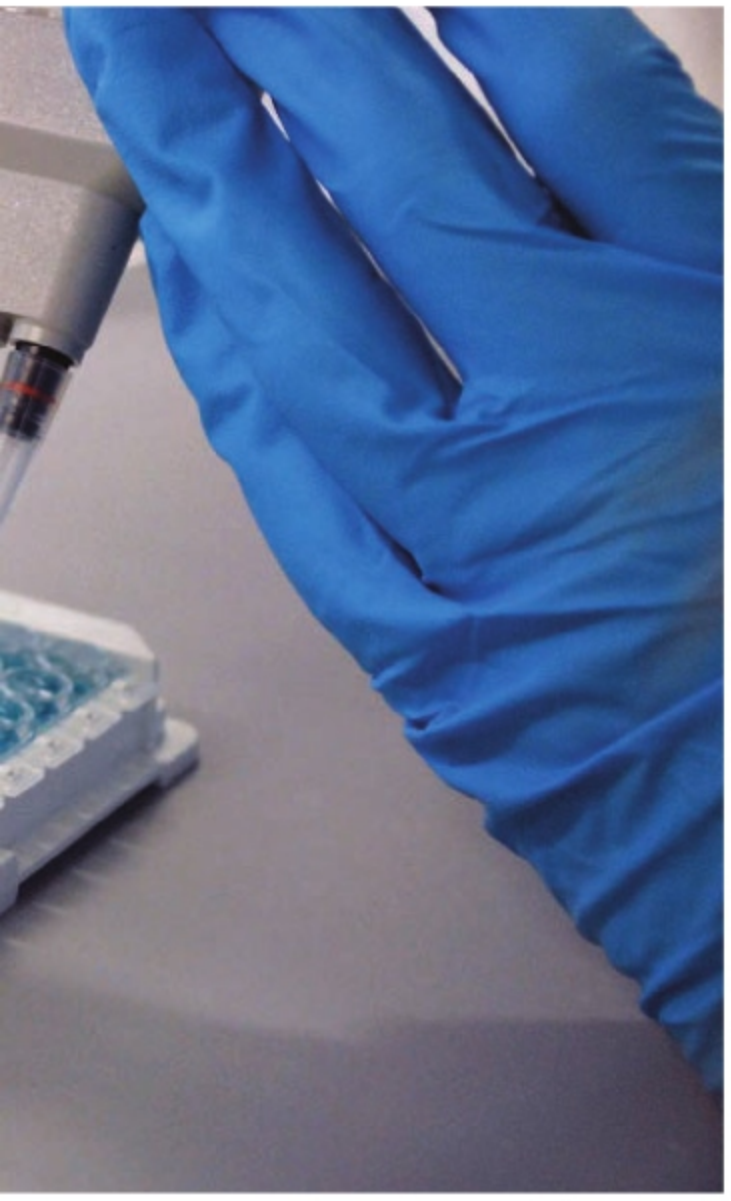
Dipendenti/collaboratori
23 di cui 5 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
nessuno



Cortesia Tecna (2)





ELISA e i suoi cervelli. Ricercatori di Tecna, azienda triestina che si occupa di sicurezza alimentare. Accanto, un kit sviluppato da Tecna usando la tecnologia ELISA.

a terzi per questo tipo di analisi, ma c'è comunque una quota crescente di realtà che vuole gestire queste informazioni in proprio», spiega ancora il direttore generale. In alcuni casi infatti serve una risposta immediata e, comunque, il cliente di Tecna può effettuare con la stessa spesa un numero maggiore di test. Tecna si rivolge proprio a queste aziende con una serie di prodotti molto specifici: «La nostra strategia è stata focalizzarci su un campo, quello dei contaminanti chimici e con alcune tecnologie, piuttosto che di diversificare l'offerta», va avanti Paleologo.

«In più non abbiamo pensato che il nostro unico sbocco commerciale dovesse essere vendere i prodotti sviluppati da noi». Una strategia che nasce da un contatto diretto che Tecna ha con il territorio e i clienti: «Molti ricercatori decidono di fare gli imprenditori ma non conoscono il mercato in cui vogliono inserirsi, il loro unico obiettivo è sviluppare la loro idea. Ma questa è spesso la via per fallire entro i primi cinque anni di attività, nel periodo detto "la valle della morte". Per noi era importante avere un catalogo di prodotti specializzati sì, ma comunque vari. Per questo abbiamo comprato anche da terzi per poi rivendere», sottolinea il biologo.

Con il catalogo in mano e una piccola rete di venditori selezionati, l'azienda di Trieste ha guadagnato fette di mercato sempre più grandi. Accanto a questo lavoro procede spedita la ricerca, per cui l'azienda ha ricevuto nel corso degli anni numerosi finanziamenti anche dalla Regione Friuli Venezia Giulia.

Immunologia ed enzimi

I kit sviluppati da Tecna usano prevalentemente la tecnologia ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*, saggio immunologico con tracciante enzimatico): per utilizzarli i tecnici delle aziende che li acquistano devono disporre di un laboratorio e avere alcune competenze. «Negli ultimi anni, però, accanto a questi kit abbiamo fatto ricerca per poter sviluppare test più facili da usare ed ancora più rapidi», racconta il direttore generale. «Si chiamano Lateral Flow e permettono di eseguire l'analisi in pochi minuti, come accade con un test di gravidanza, per intenderci». La tecnologia si basa sulla *dry chemistry*: il test si presenta come un astuccio di plastica con dentro un foglio di nitrocellulosa e altri materiali particolari sui quali vengono essiccati i reagenti. Basta una piccola goccia dell'alimento che si vuole analizzare per ottenere una colorazione a cui corrisponde un risultato. «Per avere tutti i dati di concentrazione basta un piccolo lettore portatile, una specie di smartphone, e vengono visualizzati», conclude Paleologo.

Così, per esempio, si può controllare un carico di latte all'entrata dello stabilimento e in pochi minuti si saprà se rimandarlo indietro o scaricarlo per la lavorazione. Allo stesso modo gli essicatoi o i centri di raccolta del mais possono decidere in quale ammasso porre i carichi più o meno contaminati che giungono durante la campagna di raccolta.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

Filosofia e metodi formali

Efficacia e limiti dell'uso della formalizzazione nella riflessione filosofica

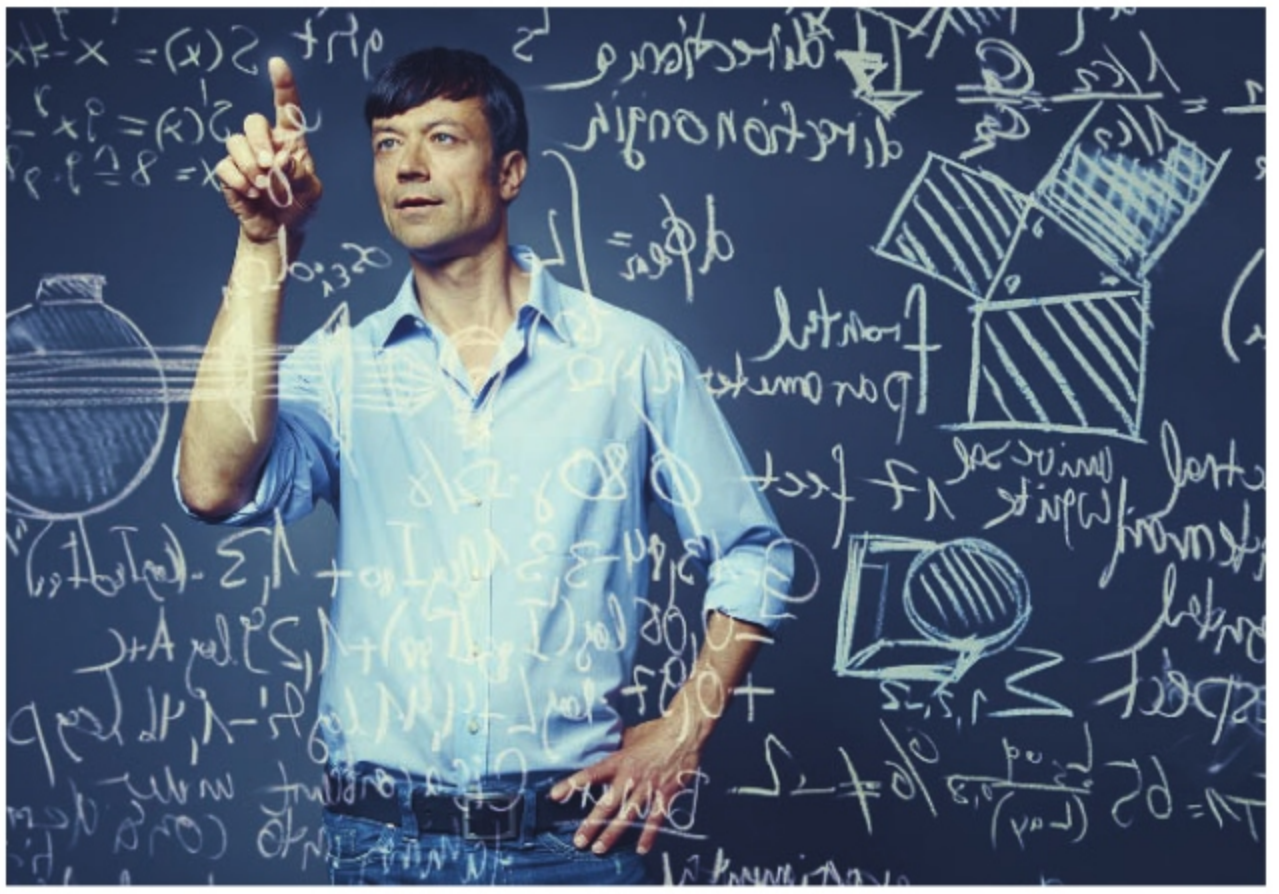
Che ruolo hanno, o possono avere, i metodi formali, cioè i metodi basati sulla matematica e la logica, nella riflessione filosofica? La domanda non riguarda solo quelle discipline che naturalmente usano strumenti formali, specialmente in riferimento a problemi di tipo fondazionale, come sono la filosofia della matematica e la filosofia della fisica. L'idea che anche nella filosofia in generale, oltre che nelle discipline strettamente scientifiche, si possa (o, addirittura, si debba) procedere in modo formale ha una lunga tradizione. Senza risalire troppo indietro nel tempo, ricordiamo che uno degli assunti di base dell'empirismo logico della prima metà del secolo scorso, nell'ambito del quale nacque la filosofia della scienza come disciplina accademica, era proprio il ruolo centrale dell'analisi logico-formale nell'attività filosofica. La logica era vista come quello strumento che permetteva di risolvere o, almeno dissolvere, i problemi filosofici tradizionali, attraverso la loro chiarificazione.

La storia dell'uso dei metodi formali nell'ambito filosofico, e del significato che a questo uso viene attribuito, ha avuto alterne vicende, a seconda degli sviluppi sia dei metodi formali stessi sia delle questioni a cui questi venivano applicati e dei contesti disciplinari coinvolti. Per quanto riguarda in particolare la filosofia della scienza, la messa in discussione della cosiddetta concezione standard, o concezione sintattica delle teorie scientifiche – forgiata all'interno del programma dell'empirismo logico ed esemplarmente rappresentata dal testo *The Structure of Science* di Ernest Nagel (1961) – portò a una revisione del ruolo degli strumenti logici nella discussione di questioni come, per esempio, la natura della conferma (che cosa valga come conferma d'una teoria), i rapporti tra teorie (quando una teoria è riducibile a un'altra), la spiegazione scientifica (che cosa significa spiegare e farlo in modo scientifico) e via dicendo.

La maggiore attenzione prestata agli aspetti storici, sociali e psicologici dell'impresa scientifica, in seguito alla svolta impressa alla riflessione filosofica sulla scienza da Thomas Kuhn e altri a partire dagli anni sessanta, non ha comunque significato un abbandono dell'uso di formalismi. Piuttosto, si è avuta l'adozione di strumenti più appropriati per il tipo di analisi che si andava facendo (come per esempio l'uso della nozione matematica di modello nella concezione detta «semantica» delle teorie), e, in tempi recenti, si è assistito al ricorso ad altri strumenti che, nel frattempo, si erano sviluppati in modo autonomo e in altri ambiti, come la teoria matematica della probabilità, la teoria dei giochi, la teoria dei grafi e, ultimamente, i metodi computazionali e, in particolare, le simulazioni al computer.

La diversificazione e, in parte, il rinnovamento delle tecniche formali a disposizione hanno reso molto più duttile ed efficace l'approccio formale alla trattazione di questioni filosofiche, consentendo di allargarne ragionevolmente il raggio d'azione anche al di fuori della filosofia della scienza. Ne è testimonianza lo sviluppo, negli ultimi vent'anni, di quella che è stata chiamata, da suoi stessi protagonisti, una «filosofia matematica» (*mathematical philosophy*), rappresentata istituzionalmente in modo paradigmatico dall'odierno Munich Center of Mathematical Philosophy (MCPM). Il centro, integrato nella facoltà di «filosofia, filosofia della scienza e studi religiosi» della Ludwig-Maxmilians Universität (LMU) di Monaco di Baviera, si presenta significativamente nel seguente modo: «Il MCMP è dedicato all'applicazione di metodi logici e matematici a ogni tipo di problema filosofico, dall'epistemologia e filosofia della scienza, alla metafisica, alla filosofia del linguaggio, all'etica e alla filosofia politica».

Tutto bene, ma nella consapevolezza tanto dell'efficacia chiarificatrice degli strumenti formali quanto, allo stesso tempo, dei limiti intrinseci del loro uso se separati dal genuino contesto filosofico. Per evitare di incorrere nella famosa critica che paragona l'uso improprio della formalizzazione «all'uso di un aereo per visitare un vicino che abita a pochi isolati di distanza».



Ben Hupfer/Corbis

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Uno o due misteri?

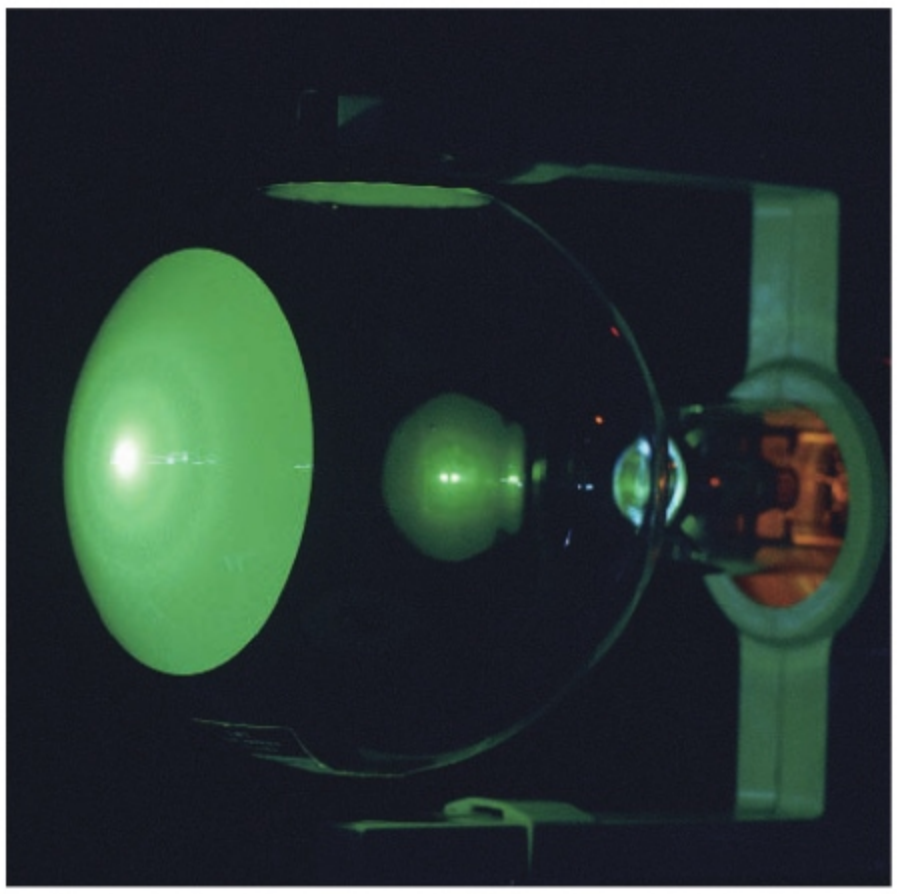
Principio di indeterminazione e dualismo onda-corpuscolo sarebbero equivalenti

La fisica quantistica, detta a volte anche meccanica quantistica, ha rappresentato una spettacolare novità nella fisica dall'inizio del Novecento e ha introdotto una certa quantità di concetti e di punti di vista nuovi e diversi nel nostro modo di vedere il comportamento della materia. Forse la novità più clamorosa è rappresentata dal cosiddetto principio di indeterminazione di Heisenbeg, che prende il suo nome dal grande scienziato tedesco Werner Heisenberg, uno dei padri appunto della meccanica quantistica. Ridotto all'osso, il principio afferma che se di una particella elementare, un elettrone per esempio, conosco con precisione assoluta la posizione, non posso conoscere con precisione assoluta la sua velocità, e viceversa. O l'una cosa o l'altra, devo scegliere. Posso anche accontentarmi di conoscerne la posizione con una certa approssimazione; potrò conoscere allora anche la sua velocità con una certa approssimazione. Tra le due approssimazioni c'è una relazione ben precisa, cioè il loro prodotto non può superare un certo valore prefissato.

Ma c'è anche un'altra stranezza nel mondo delle particelle elementari: una particella può comportarsi tanto come corpuscolo quanto come onda. Anche qui o l'una cosa o l'altra, però, non entrambe insieme. La corrispondente osservazione sperimentale prende il nome di dualismo onda-corpuscolo. Nelle sue celeberrime *Lezioni di fisica* il fenomenale e simpaticissimo Richard Feynman afferma che questo è l'unico vero grande mistero del mondo dei quanti. Tre fisici attivi a Singapore hanno ora mostrato che i due principi sono praticamente equivalenti (si veda Coles P. J. e collaboratori in «Nature Communications», Vol. 5, articolo n. 5814), proponendo così una notevole semplificazione di tutta la materia.

Dei due «misteri», quello del principio d'indeterminazione è di gran lunga il più celebre, spesso citato anche a sproposito. Condivide probabilmente con il teorema d'incompletezza di Kurt Gödel il primato delle idee scientifiche di cui i più parlano senza cognizione di causa. Molti psicanalisti citano per esempio il principio di Heisenberg come prova che le cose non possono essere conosciute scientificamente nella vita di tutti i giorni e che l'osservatore stesso turba ogni fenomeno. Doppia falsità questa, perché il principio si applica alle entità microscopiche subatomiche e non alle persone in carne e ossa e inoltre non è l'osservatore che influisce sul fenomeno, ma l'osservazione, che può essere fatta anche da una macchina.

Meno popolare, ma non meno interessante, è il dualismo onda-corpuscolo: in ogni fenomeno che la riguarda, una particella elementare, un elettrone per esempio, può comportarsi come un corpuscolo o anche come un'onda. Se «sparo» un certo numero di elettroni contro una parete con fenditure ravvicinate, osserverò dall'altra parte un profilo d'intensità che obbedisce alla distribuzione che competerebbe a un'onda che investisse la parete stessa: gli elettroni si sono quindi comportati collettivamente come un'onda elettromagnetica.



Diffrazione in azione. Lo schema di anelli (*verde e bianco*) è generato da elettroni che esibiscono un comportamento da onda.

Andrew Lambert Photography/SPL/Contrasto

Il vero problema è che ciò accade anche se sparo sulla detta parete un singolo elettrone, che quindi può esibire un comportamento da corpuscolo oppure da onda, dotata di una specifica lunghezza d'onda. Il profilo ondulatorio non si presenta però se, durante l'esperimento, qualcuno tenta di determinare alcuni paramenti corpuscolari dell'elettrone in questione. Tutto questo è sperimentalmente noto, ma concettualmente difficile da capire.

I nostri autori immaginano un esperimento mentale in cui l'elettrone attraversa un particolare tipo di parete «attrezzata» e trovano che il suo comportamento è compatibile con un'applicazione del principio di indeterminazione, in una sua forma molto moderna che tira in ballo l'entropia del sistema. In pratica si chiedono che cosa sa e può prevedere un ipotetico osservatore: se sa un certo tipo di cose, il comportamento dell'elettrone sarà di un tipo, per esempio corpuscolare, mentre se conosce, o cerca di conoscere, un altro tipo di cose, il comportamento dell'elettrone sarà di tipo opposto, per esempio ondulatorio. Non possiamo entrare nei dettagli matematici dei singoli fenomeni, ma quello che accade l'abbiamo riassunto a parole. Molto bello e semplice. Che si vada verso una fondamentale semplificazione dei fenomeni quantistici? Non possiamo che augurarcelo.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Il treno dei desideri

Per risolvere il problema dei trasporti basta passare per il centro della Terra

Le avventure di *Alice nel paese delle meraviglie* iniziano con un'interminabile caduta libera nella tana del Coniglio, e la bambina si domanda curiosa se raggiungerà il centro della Terra, o addirittura quegli «Antipotici» che stanno dall'altra parte. Se la domanda, tutt'altro che insensata, l'aveva già posta Plutarco, la risposta, tutt'altro che ovvia, l'aveva già data Galileo Galilei nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*.

Da un punto di vista puramente dinamico, e ignorando attriti e rotazione (per esempio, supponendo che il buco colleghi i due poli), Alice cadrebbe con accelerazione decrescente e velocità crescente fino al centro della Terra, dove raggiungerebbe accelerazione zero. Continuando poi a cadere con velocità decrescente fino agli antipodi, li raggiungerebbe a velocità zero. E una volta dall'altra parte riprenderebbe a cadere «all'insù», con un moto oscillatorio che la farebbe salire e scendere in eterno, come se fosse attaccata a un elastico. In presenza di attrito l'oscillazione sarebbe invece smorzata, e prima o poi Alice si fermerebbe al centro della Terra.

Alle intuizioni qualitative di Galileo, i *Principia* di Newton aggiunsero la possibilità di un trattamento quantitativo della questione. Per poter calcolare il moto di un corpo in caduta libera dentro la Terra, che supponiamo per semplicità sferica, bisogna conoscere l'accelerazione a cui il corpo è soggetto. Per la legge di gravitazione, sulla superficie della Terra l'accelerazione è pari a $g = GM/R^2$, dove M e R sono la massa e il raggio terrestre, e G la costante di gravitazione universale. Dentro la Terra, a una distanza r dal centro, l'accelerazione è invece pari a Gm/r^2, dove m è la massa del nucleo interno di raggio r: una delle scoperte di Newton, infatti, fu che l'azione della parte esterna sul corpo si annulla.

Supponendo che la densità della Terra sia costante, i rapporti fra le due masse sono proporzionali ai loro volumi, e dunque ai cubi dei rispettivi raggi: cioè, la massa del nucleo interno m è pari a Mr^3/R^3, e l'accelerazione a distanza r dal centro è uguale a gr/R. E poiché sia g che R sono costanti, l'accelerazione è proporzionale alla distanza r: siamo quindi in presenza di un moto armonico, in cui il corpo oscilla periodicamente fra gli estremi con un periodo pari a $2\pi\sqrt{R/g}$.

L'oscillazione era appunto già stata intuita da Galileo, ma con gli strumenti introdotti da Newton possiamo calcolarne la durata. Usando come valore dell'accelerazione di gravità i famosi 9,8 metri al secondo quadrato, e come valore del raggio terrestre una media di 6380 chilometri, il tempo impiegato per andare da un polo è pari a metà del periodo: cioè, circa 2535 secondi, o 42 minuti e 15 secondi. Tempo sbalorditivamente corto, trascorso a una media di circa 18.200 chilometri all'ora, con una punta massima al centro di circa 28.500 chilometri all'ora: che, non a caso, è anche la velocità orbitale di un corpo in orbita radente alla superficie terrestre.

La realtà. Lungi dall'attraversare la Terra, questo treno parte da Parigi diretto a Londra, passando sotto il canale della Manica.

Owen Franken/Corbis

Come aveva già intuito Galileo, lo stesso tempo viene impiegato per muoversi in scivolata libera e senza attriti lungo un tunnel rettilineo che parte da un qualunque punto della superficie terrestre e arriva in un qualunque altro punto, indipendentemente dalla sua lunghezza: sia la forza attrattiva sia la distanza percorsa diminuiscono infatti in ciascun punto dello stesso fattore (il coseno dell'angolo tra la direzione del tunnel e la verticale per il centro).

Si può dunque sfruttare la cosa per risolvere definitivamente problema dei trasporti: invece di costruire ferrovie sulla superficie terrestre, basta traforare la Terra di gallerie rettilinee e farle percorrere da treni non sospinti da costosi motori, ma tirati dalla gratuita gravità.

Nel 1893 Lewis Carroll ne parlò scherzosamente nella seconda parte del romanzo *Silvia e Bruno*, attribuendo l'invenzione del treno gravitazionale a uno dei protagonisti, il professore tedesco Mein Herr. Ma nel 1966 il fisico statunitense Paul Cooper propose seriamente la cosa sull'«American Journal of Physics». La notizia fu immediatamente ripresa dal settimanale «Time» e sollevò un'accesa discussione sui *media* scientifici, apparentemente ignari del fatto che già Galileo e Newton avevano risolto l'esercizio di fisica, e che Carroll l'aveva da tempo situato nell'ambito che gli competeva: quello della letteratura fantastica.

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Le ragioni dell'inflazione

Il modello inflazionario è ancora il più valido per spiegare l'evoluzione del cosmo

Esattamente un anno fa, l'esperimento BICEP2 sembrava aver trovato prove di onde gravitazionali prodotte negli istanti iniziali dell'universo, sotto forma di una specifica impronta (i cosiddetti modi B) nella polarizzazione della radiazione cosmica di fondo. Con il passare dei mesi, però, i dubbi erano cresciuti (ne avevamo parlato nella rubrica di settembre scorso) ed era apparso sempre più probabile che l'emissione radio della nostra galassia potesse spiegare in tutto o in parte il risultato. Adesso, con l'analisi congiunta delle osservazioni di BICEP2, del Keck Array (anch'esso operante in Antartide) e di quelle del satellite Planck dell'Agenzia spaziale europea nella stessa regione di cielo (ma a diverse frequenze, dove il segnale galattico è più forte), il caso sembra chiuso: secondo lo studio inviato il mese scorso alla rivista «Physical Review Letters», quelli osservati da BICEP2 erano davvero modi B, ma la loro origine è attribuibile alla contaminazione da parte della polvere galattica, che si è rivelata maggiore del previsto. Il contributo delle onde gravitazionali al segnale, ammesso che ci sia, è al momento non discernibile, e possiamo soltanto mettere limiti superiori alla sua ampiezza.

Viene quindi per ora a cadere quella che probabilmente sarebbe stata la prova decisiva a favore dell'inflazione cosmica, lo scenario teorico che tenta di descrivere i primissimi istanti dell'evoluzione dell'universo attraverso una fase di espansione accelerata. Da questo punto di vista torniamo più o meno alla situazione in cui eravamo 12 mesi fa: l'inflazione resta comunque il candidato più adatto a spiegare le condizioni da cui è iniziata la storia del cosmo, e la nuova interpretazione dei risultati di BICEP2 non è di per sé una ragione per metterla in discussione.

Le principali previsioni dei modelli inflazionari sono già state convalidate, a cavallo del secolo scorso, dalle osservazioni della radiazione cosmica di fondo: la (quasi) assenza di curvatura dello spazio su grande scala, l'estrema omogeneità dell'universo osservabile, ma soprattutto la comparsa, nei primi istanti della storia cosmica, di minuscole fluttuazioni di densità casuali nella distribuzione di materia, con proprietà statistiche in ottimo accordo con quelle osservate. E sebbene non esista un modello universalmente accettato e basato su teorie convalidate, l'inflazione poggia su concetti ormai familiari ai fisici, come il ricorso a un campo scalare (sul tipo di quello di Higgs) la cui densità di energia alimenta la fase iniziale di crescita accelerata. Se a tutto questo si aggiunge il fatto che, negli oltre trent'anni da quando il meccanismo inflazionario è stato proposto per la prima volta, non sono emerse teorie alternative altrettanto credibili, si capisce come mai il consenso nei suoi confronti si sia ormai esteso alla quasi totalità della comunità dei cosmologi.

Il che però non vuol neanche dire che l'inflazione sia corretta, e i punti deboli non mancano: primo fra tutti la genericità dello scenario, che include ancora una grande quantità di modelli compatibili con i dati e può essere in qualche misura «plasmato» per adattarsi alle osservazioni. Andrebbe inoltre chiarito quali aspetti del meccanismo dipendano da condizioni iniziali «*ad hoc*».

La missione del LISA Pathfinder, che sarà lanciato nei prossimi mesi, aprirà la strada alla ricerca delle onde gravitazionali dallo spazio. Sopra, il rilevatore durante una fase di test.

Cortesia Astrium UK

Insomma, c'è sicuramente ancora molto da fare. Proprio per questo, se la vicenda BICEP2 è conclusa, la caccia alle onde gravitazionali primordiali non lo è affatto, e anzi diventerà ancora più serrata in futuro, con un gran numero di osservazioni da terra e da pallone già in corso o in preparazione (incluso BICEP3), che spingeranno la sensibilità delle misure molto oltre i limiti attuali. Se c'è stata l'inflazione, potremmo trovare le prove già tra qualche anno. A meno che la natura non le abbia nascoste meglio di quanto pensiamo.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Dove incontrammo i Neanderthal

Homo sapiens e *Homo neanderthalensis* si sarebbero incrociati in Medio Oriente

Non di solo DNA antico si nutre l'evoluzione umana. Finalmente un cranio (dice il paleoantropologo)! Anzi, per la precisione, si tratta di un piccolo cranio senza volto, pubblicato *on line* su «Nature» a inizio febbraio e piombato nel bel mezzo di una questione che, ultimamente, deve essere sembrata a molti basata quasi esclusivamente sulle molecole.

Parliamo ancora una volta dell'origine dei primi *Homo sapiens* che si diffusero in Eurasia, dopo l'uscita dall'Africa, e della loro possibile ibridazione con i Neanderthal. Parliamo della morfologia di questo piccolo cranio – tecnicamente un «calvario» (ovvero una scatola cranica) parziale, probabilmente femminile – che appare inequivocabilmente moderna e che presenta, da un lato, tratti simili a quelli di popolazioni africane attuali e a fossili eurasiatici di *Homo sapiens*, ma anche tratti che potrebbero suggerire gli esiti di qualche incrocio con i Neanderthal, dall'altro. Parliamo infine di una grotta, Manot Cave (da cui il nome del cranio fossile, Manot 1) nel nord dell'attuale territorio d'Israele, e di una datazione: circa 55.000 anni fa (più esattamente 54.760 +/- 5500 anni fa).

Vediamo di capire. Giusto pochi mesi fa, a dicembre, dicevamo che nuovi dati sul genoma di primi rappresentanti della nostra specie in Europa stavano facendo luce su questi argomenti. In particolare dicevamo che, parecchio tempo dopo l'origine di *Homo sapiens* (200.000 anni fa in Africa), alcune popolazioni ormai «tracimavano» fuori dall'Africa.

Scheletri di questi primi moderni extra-africani sono stati datati a circa 100.000 anni fa e vengono proprio dal territorio di Israele: li conosciamo dalle grotte di Skhul, sul Monte Carmelo, e di Qafzeh, vicino Nazareth. Verrebbe da pensare che gli uomini e le donne di Skhul e Qafzeh siano stati quelli che si diffusero in Eurasia e poi nel resto del pianeta. Inoltre, da quelle parti c'erano già i Neanderthal, come dimostra per esempio lo scheletro della grotta di Tabun, anch'essa sul Monte Carmelo. Dunque, verrebbe anche da pensare che, se ibridazione con i Neanderthal ci fu, gli incroci avvennero all'epoca di questo primo contatto, cioè intorno a 100.000 anni fa.

Tuttavia, i calcoli dei genetisti suggeriscono che tutto avvenne diverse decine di millenni dopo. Ricercatori del Max-Planck-Institut per l'antropologia evoluzionistica di Lipsia hanno stimato infatti che il flusso di geni fra le due specie si sarebbe verificato circa 300 generazioni prima di quella del DNA estratto da un femore umano anatomicamente moderno del tardo Pleistocene scoperto in Siberia (Ust'-Ishim). La stima che ne è derivata per l'epoca dell'ibridazione si aggira intorno a 55.000 anni fa: proprio la data del cranio di Manot Cave in Israele! Non basta: modeste quantità di materiale genetico di Neanderthal, ottenute estraendo il DNA da uno scheletro moderno del Paleolitico Superiore in Russia (Kostenki 14), sono state considerate il retaggio di incroci avvenuti in Vicino Oriente intorno a... 55.000 anni fa!

Insomma, tutto sembrerebbe ruotare intorno a 55.000 anni fa e all'attuale territorio di Israele. Manot 1 è quindi il primo fossile che ci arriva da un'epoca cruciale dell'evoluzione umana, nella quale i modelli genetici prevedono che i primi *Homo sapiens* in diffusione dall'Africa iniziarono a colonizzare con successo l'Eurasia. Questo scenario non era atteso sulla base di resti fossili anatomicamente moderni come quelli di Skhul e Qafzeh, che si erano già affacciati fuori dal continente africano diverse decine di millenni prima. Quel piccolo cranio senza volto rappresenta anche il primo indizio sulla morfologia degli esseri umani moderni che vissero in prossimità cronologica a quei circoscritti incroci con i Neanderthal.

È un piccolo cranio, ma ci racconta davvero molto.

Confronto all'americana. Il cranio di Manot Cave, al centro, messo a confronto con un cranio di Neanderthal, in primo piano, e uno di *Homo sapiens*, sullo sfondo.

© Nir Alon/ZUMA Press/Corbis

INGEGNERIA GENETICA

OGM ancora più sicuri

Realizzato un ceppo di batteri che dipende da un amminoacido artificiale

Ted Horowitz/Corbis

Una barriera contro la dispersione. Ricercatori statunitensi hanno realizzato in laboratorio un ceppo del batterio *Escherichia coli* che sopravvive solo se nutrito con un amminoacido che non esiste in natura e che quindi agisce da ulteriore barriera contro la dispersione nell'ambiente.

Uno dei loro artefici li ha chiamati «OGM al guinzaglio». Sono batteri geneticamente modificati che sopravvivono solo se nutriti con un amminoacido che non esiste in natura, e sono quindi molto più controllabili perché incapaci di vita autonoma. Li hanno presentati su «Nature» due lavori indipendenti, guidati da George Church della Harvard Medical School a Boston e da Farren Isaacs della Yale University a New Haven.

Lavorando insieme, i due avevano già realizzato un ceppo di *Escherichia coli* con il codice genetico modificato: una certa tripletta di stop, che in ogni organismo fa terminare la sintesi della proteina, qui segnala invece di inserire nella catena proteica un dato amminoacido artificiale. Con tecniche diverse, sia Isaacs sia Church hanno quindi studiato una serie di proteine essenziali, per individuare in quali punti si potesse inserire un amminoacido aggiuntivo senza comprometterne la funzione. Hanno quindi modificato i rispettivi geni, così da inserire nei punti opportuni l'amminoacido artificiale. In assenza dell'amminoacido, quindi, la sintesi delle proteine essenziali si blocca e i batteri muoiono.

Organismi dipendenti da una data sostanza erano già stati creati, ma con efficacia limitata perché i batteri potevano sia imparare a procurarsi il nutriente da altre fonti, sia mutare e affrancarsi dalla dipendenza. In questo caso il nutriente non esiste in natura e, poiché le modificazioni sono numerose – Church ne ha inserite 49 in tre geni – è estremamente improbabile una mutazione contemporanea di tutte, senza che intanto emergano altre mutazioni dannose. L'uso del codice artificiale ostacola inoltre gli scambi genetici con i batteri naturali, altra possibile via per acquisire la resistenza e per propagare i geni modificati, e accresce la resistenza ai virus.

Organismi simili saranno più sicuri in ambienti confinati, aggiungendo un nuovo livello di contenimento a quello fisico. Ma soprattutto sarebbero molto più indicati per essere liberati nell'ambiente, in usi che spaziano dal biorisanamento con batteri di siti inquinati alla lotta alla malaria con zanzare modificate, adattando la strategia ad altri organismi.

La strategia va ancora perfezionata sia per i costi dei nutrienti artificiali sia nella sicurezza. I batteri si sono riprodotti per 20 giorni senza che emergessero ceppi mutati tornati autonomi, ma per rafforzare la sicurezza serviranno modificazioni più profonde.

Church infatti punta a modificare più a fondo il codice, cambiando il significato di sette triplette anziché una sola, mentre Isaacs ha già fatto un altro passo: su «Nucleic Acids Research» ha presentato ceppi con un meccanismo di sicurezza indipendente, che necessitano di un altro composto sintetico per poter esprimere alcuni geni.

Giovanni Sabato

FISICA

I confini del micromondo

Un esperimento ha cercato di rilevare la scala dimensionale oltre cui la fisica classica non vale più

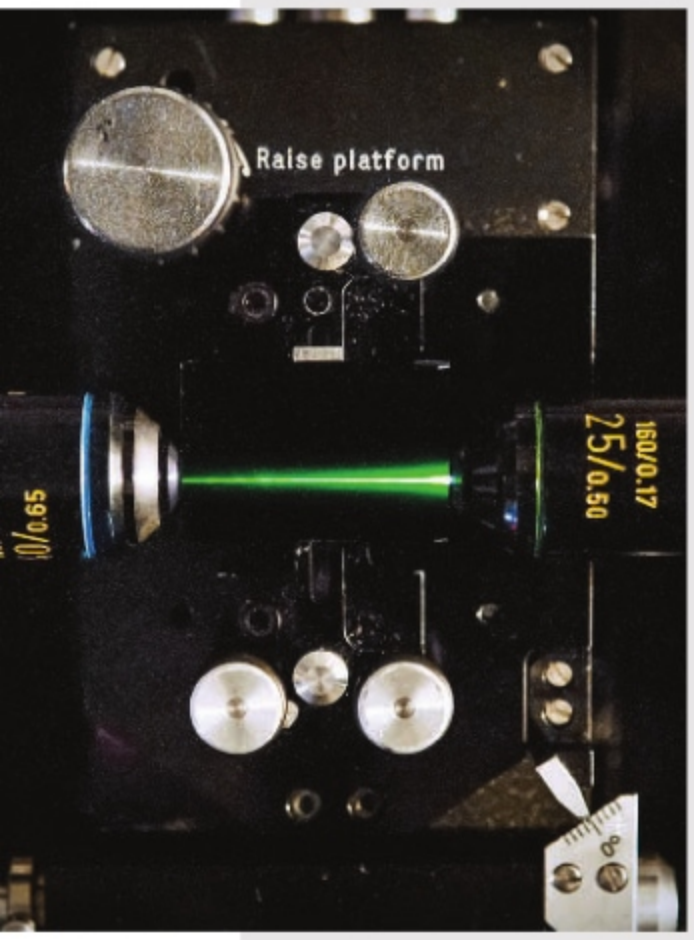
Uno dei problemi fondamentali dei fisici è scoprire a quali scale dimensionali i sistemi microscopici cessano di seguire le leggi della meccanica quantistica e iniziano a comportarsi come sistemi macroscopici, seguendo quindi le leggi della meccanica classica. Per individuare questo confine fra micro e macromondo, che resta ancora indefinito, sono stati effettuati molti esperimenti, a cui si è adesso aggiunto quello realizzato da un gruppo guidato da Carsten Robens, dell'Università di Bonn, e descritto on line su «Physical Review X».

Robens e collaboratori hanno analizzato il moto dei massicci atomi di cesio, con numero atomico pari a 55 e raggio atomico molto esteso, intrappolandoli singolarmente in un reticolo elettromagnetico e andando a vedere se seguivano una traiettoria classica o se invece si trovavano in una sovrapposizione quantistica di stati, avendo quindi una probabilità non nulla di trovarsi in più posizioni. Il risultato è stato che, per quanto estesi, gli atomi di cesio hanno dimensioni ancora lontane da quelle degli oggetti macroscopici, e quindi sono oggetti quantistici.

Il fondamento teorico di questo esperimento, come di quelli precedenti, risale a un lavoro pubblicato nel 1985 su «Physical Review Letters» da Anthony Leggett e Anupam Garg, che aveva portato alla definizione della disuguaglianza di Leggett-Garg. Questa disuguaglianza è una relazione matematica che permette di distinguere se un sistema è quantistico non direttamente, ma escludendo eventuali alternative. In particolare, la violazione della disuguaglianza indica che il sistema analizzato è ancora quantistico, perché la sua evoluzione temporale non è descrivibile in termini classici.

Robens e colleghi hanno dunque misurato in maniera non invasiva – ovvero non perturbando il sistema oggetto della misura – le diverse posizioni assunte dal singolo atomo di cesio in tempi diversi e calcolato la correlazione statistica fra queste posizioni. I risultati ottenuti violano la disuguaglianza di Leggett-Garg, dimostrando che per individuare la scala dimensionale del limite fra micro e macromondo occorreranno atomi ancora più grandi.

Emiliano Ricci



Il micro-anello italiano per fotoni entangled

Nel bizzarro mondo della meccanica quantistica è possibile che due particelle anche infinitamente distanti tra loro possano influenzarsi a vicenda, replicando istantaneamente l'una sull'altra qualsiasi tipo di cambiamento che sperimentano. È il fenomeno dell'*entanglement* e le due particelle così accoppiate si definiscono «*entangled*».
In particolare, i fotoni entangled sono alla base del funzionamento di dispositivi di optoelettronica e si spera dei calcolatori quantistici del futuro. Come illustrato su «Optica», un gruppo dell'Università degli Studi di Pavia ha messo a punto un'apparecchiatura in grado di produrre fotoni entangled che, per la prima volta, è abbastanza piccolo da poter essere installato su un comune *chip*, aprendo così la strada a un possibile sviluppo su larga scala di questa tecnologia. A oggi, infatti, gli emettitori di fotoni entangled più piccoli hanno comunque le dimensioni di qualche millimetro, mentre la nuova sorgente misura circa 20 micrometri. Il suo funzionamento si basa sul medesimo principio del risonatore ottico ad anello (*micro-ring resonator*), già comunemente impiegato, per esempio, nel campo delle telecomunicazioni digitali a fibra ottica.
Un risonatore ottico ad anello è costituito dall'accoppiamento tra una o più guide d'onda in silicio di tipo input/output di cui almeno una è, appunto, un anello chiuso. Quando la luce viene immessa nella guida d'onda in entrata, questa passa poi all'anello, all'interno del quale viene amplificata per un fenomeno chiamato «interferenza costruttiva». Ebbene, il micro-anello degli scienziati di Pavia ha generato con elevata efficienza energetica un output costituito da un flusso di coppie di fotoni entangled a partire dall'input di una pompa laser. Questo tipo di tecnologia quantistica vede una delle sue più importanti applicazioni nell'ambito della crittografia delle informazioni, poiché consentirebbe un livello di sicurezza nella trasmissione dei dati irraggiungibile per i protocolli classici.

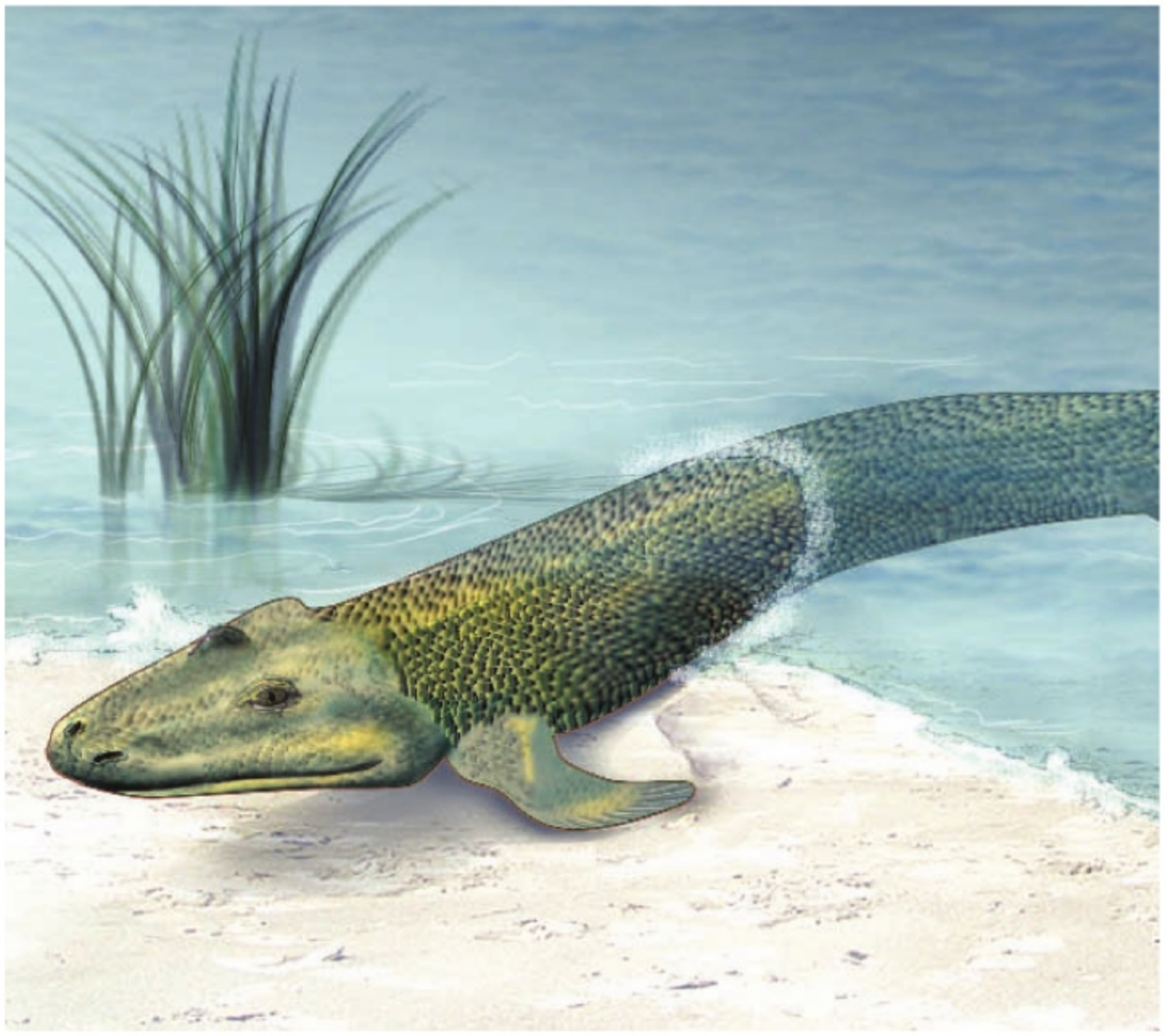
Marina Semiglia

Bunsen Bookworm/Corbis (*palle da tennis*);
Alastair Philip Wiper/SPL/Contrasto (*laser per ricerca in optoelettronica*)

EVOLUZIONE

Dalle pinne alle zampe

Pinne pettorali dei pesci e zampe dei vertebrati terrestri hanno geni regolatori in comune



National Science Foundation/SPL/Contrasto

Il passaggio dei vertebrati dalla vita acquatica a quella terrestre, avvenuto 350 milioni di anni fa, ha implicato diverse innovazioni anatomiche come adattamento alle nuove condizioni ambientali. Tra le più importanti, c'è la modifica delle pinne pettorali dei pesci in strutture capaci di sostenere il peso corporeo e permettere la locomozione fuori dall'acqua: gli arti dei tetrapodi. Sebbene le testimonianze fossili indichino che questa transizione sia avvenuta con il riarrangiamento delle ossa delle pinne, nei pesci attuali non sono stati trovati geni omologhi a quelli che nei tetrapodi regolano lo sviluppo della regione prossimale degli arti, lasciando molta incertezza sull'origine evolutiva di polso e dita.

Grazie a embrioni di una specie «non modello», il luccio maculato (*Lepisosteus oculatus*), uno studio su «Proceedings of the National Academy of Sciences» ha rintracciato anche nei pesci alcuni dei geni che nei vertebrati terrestri guidano l'ontogenesi degli autopodi, i segmenti distali dello scheletro degli arti composti da polso e dita, nonostante questi organismi non presentino tali strutture anatomiche. In questo contesto, la posizione filogenetica della specie è cruciale, perché la sua linea evolutiva si separò prima di un evento di duplicazione dell'intero genoma dei pesci, che avrebbe finora mascherato l'individuazione di tali geni nelle specie più usate negli studi di questo tipo. A differenza di queste, infatti, nei lucci maculati i geni regolatori degli autopodi guidano l'espressione dello sviluppo della parte distale delle pinne pettorali e rispondono ai medesimi stimoli di quelli omologhi degli embrioni di topo. Inoltre, l'inserimento delle regioni regolative di geni di luccio in embrioni di topo transgenici ha promosso la loro espressione in corrispondenza sia del polso sia delle dita, indicandone la medesima funzione.

Nel complesso, lo studio fornisce quindi conferme sull'origine omologa di pinne e zampe, nonché sulle modalità di azione della selezione naturale, che spesso non crea novità evolutive dal nulla, ma riutilizza, modificandone la funzione, strutture preesistenti.

Andrea Romano

Come è nata la gravidanza nei mammiferi

L'evoluzione della gravidanza nei mammiferi, dalla deposizione di uova al parto, è avvenuta grazie a cambiamenti nell'espressione genica dovuti a trasposoni, pezzi di DNA non codificante capaci di saltare da una parte all'altra del genoma. Lo ha dimostrato su «Cell Reports» un gruppo coordinato da Günter P. Wagner della Yale University.
Analizzando i geni espressi nelle cellule uterine di placentati, marsupiali e monotremi, i ricercatori ne hanno ricostruito la storia evolutiva scoprendo che i primi ad attivarsi, nel più antico antenato dei mammiferi, sono stati geni coinvolti nella segnalazione cellulare, nella regolazione del metabolismo e nello sviluppo uterino. Il passaggio ai marsupiali, invece, è arrivato con la trascrizione di oltre 1000 geni legati alla comunicazione tra madre e feto, mentre nei placentati si sono «accesi» i geni responsabili della soppressione del sistema immunitario materno.
In realtà, tutti questi geni erano già trascritti, con funzioni diverse, però in altri tessuti. La loro espressione nell'utero è emersa grazie a trasposoni sensibili all'ormone progesterone, i quali, spostandosi casualmente nel genoma delle cellule uterine, ne hanno promosso la trascrizione in risposta a variazioni della concentrazione proprio del progesterone.

Martina Saporiti

AMBIENTE

Il difficile adattamento del salmone

Con l'aumento delle temperature i salmoni del Pacifico rischiano l'estinzione

Oggi si stanno moltiplicando gli studi sugli impatti del cambiamento climatico, e soprattutto del riscaldamento globale, sugli ecosistemi.

Il problema è complesso, perché per avere un quadro completo bisognerebbe considerare anche la dinamica delle popolazioni, dato che l'eventuale scomparsa di una specie porta con sé conseguenze per tutta la catena alimentare coinvolta. Nonostante questo, vi sono elementi a livello di singoli individui delle varie specie che possono dare una prima indicazione sulle possibilità di adattamento a un clima mutato.

Un esempio chiaro ci viene da uno studio di Nicolas Muñoz e colleghi canadesi recentemente pubblicato su «Nature Climate Change». Questi ricercatori hanno studiato la tolleranza di singoli esemplari di salmone del Pacifico all'aumento di temperatura delle acque. L'eventuale adattamento dipende da quanto l'esemplare riesca a procurarsi più ossigeno a temperature aumentate. Per far questo deve aumentare il ritmo cardiaco ma, ovviamente, c'è una soglia oltre cui non può andare, pena la morte o almeno l'impossibilità di compiere attività riproduttive.

I ricercatori hanno effettuato prove su alcuni gruppi di salmoni, immergendoli in acque a temperatura ambiente o a temperatura aumentata, e hanno studiato le loro capacità di adattamento. Hanno poi confrontato i risultati ottenuti con le proiezioni di aumento di temperatura per il Nord America fornite dai modelli climatici utilizzati nell'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Tutto ciò li ha portati a stimare una probabilità di perdita catastrofica della popolazione di salmoni del Pacifico del 17 per cento nel 2100 quando si consideri la media dell'aumento di temperatura previsto dai vari modelli. Quando si valuti lo scenario più estremo di aumento termico, invece, la probabilità di estinzione potrebbe essere del 98 per cento.

Insomma, se vogliamo evitare l'infarto a questi salmoni non ci resta che contenere l'aumento di temperatura nel prossimo futuro. Non si può, infatti, solo sperare in eventuali cambiamenti genetici rapidi che vadano nella direzione di assicurare una maggiore tolleranza al caldo.

Antonello Pasini

I danni di frane e inondazioni nel 2014

Che il 2014 in Italia fosse stato un *annus horribilis* dal punto di vista di frane e alluvioni, se n'erano accorti un po' tutti. Adesso lo conferma anche l'Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica (IRPI) del Consiglio nazionale delle ricerche che, sul sito Polaris, sintetizza con dati e statistiche quanto accaduto. «Nel 2014 – dice la geologa Paola Salvati dell'IRPI-CNR – si sono avuti, a causa di frane e inondazioni, 33 morti e 46 feriti e oltre 10.000 sfollati. Gli eventi che hanno causato morti, feriti e sfollati hanno colpito 220 comuni in 19 delle 20 regioni italiane. La più colpita è la Liguria, dove gli eventi meteorici di gennaio, ottobre e novembre, hanno provocato cinque vittime in 34 comuni e 71 località. Seguono Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna e Toscana.»
I disastri idrogeologici però sono un fenomeno recente. «Tra il 1964 e il 2013 ci sono stati 1989 morti, circa 40 all'anno, a causa di frane e inondazioni in un quarto dei comuni italiani. Tra il 2009 e il 2013, questi eventi hanno causato una media di 32 morti e oltre 45.000 sfollati all'anno». La media dei morti si è un po' abbassata per i migliori servizi di allerta e soccorso, ma l'incrocio fra diffuso degrado idrogeologico ed eventi estremi legati al cambiamento climatico, rischia in futuro di aumentare il numero di vittime e i danni.

Alex Saragosa

PBMW/Corbis; a fronte: Science Picture Co./Corbis (*australopiteco*); Dlillic/Corbis (*pulcino*)

PALEOANTROPOLOGIA

Abile come un australopiteco

Nuove analisi indicano che *Australopithecus africanus* era in grado di maneggiare strumenti

Nella linea evolutiva che ha portato alla nostra specie, la capacità di maneggiare strumenti si sarebbe evoluta ben prima dell'origine del genere *Homo* e in tempi precedenti alla fabbricazione degli utensili stessi. A sostenerlo è uno studio su «Science» che ha analizzato la struttura interna del pollice in diverse specie di primati, tra cui le attuali scimmie antropomorfe, l'essere umano e alcuni ominini estinti, attribuendo anche al genere *Australopithecus* questa capacità.

Fino a oggi, decenni di indagini sulla morfologia esterna degli arti anteriori dei primi ominidi bipedi non avevano chiarito se negli australopitechi le mani fossero ancora vincolate alla locomozione sugli alberi o se avessero assunto funzioni di utilizzo e manipolazione degli oggetti.

Grazie alla scansione del primo metacarpo del pollice e alla sua successiva analisi morfo-funzionale, lo studio ha stabilito che *Australopithecus africanus* aveva una struttura del pollice che consentiva una buona impugnatura di strumenti in pietra. Come i metacarpi di *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*, infatti, la disposizione della componente spugnosa dell'osso di questa specie indicherebbe la sua abilità sia nell'energica opposizione del pollice alle altre dita sia nella presa di precisione. Tuttavia, questa abilità non sembra essere comune a tutti i membri del genere, dato che *A. afarensis*, la specie della celebre Lucy, non aveva queste caratteristiche.

La scoperta è importante perché *A. africanus* visse in un periodo compreso tra 3 e 2 milioni di anni fa, e quindi offre prove morfologiche del passaggio a una mano tipicamente umana in tempi precedenti a quanto si ritenesse finora.

Inoltre, lo studio retrodata di mezzo milione di anni l'origine delle più antiche prove dell'uso di strumenti, che finora coincidevano con alcuni reperti trovati in Etiopia e risalenti a circa 2,6 milioni di anni fa, periodo in cui in quell'area convivevano diverse specie di ominini, sia del genere *Homo* che *Australopithecus*. Rimane ora da capire se *A. africanus* usasse oggetti che trovava nell'ambiente o fosse in grado di fabbricarne di propri.

Andrea Romano

Il senso dei pulcini per i numeri nello spazio

Come gli esseri umani, anche i pulcini, già appena nati, se devono operare con valori numerici tendono a visualizzarli in ordine crescente da sinistra a destra, lungo una cosiddetta linea mentale dei numeri. Lo mostrano su «Science» Rosa Rugani, Konstantinos Priftis e Lucia Regolin, dell'Università di Padova, e Giorgio Vallortigara, direttore del Centro interdipartimentale mente/cervello dell'Università di Trento a Rovereto.

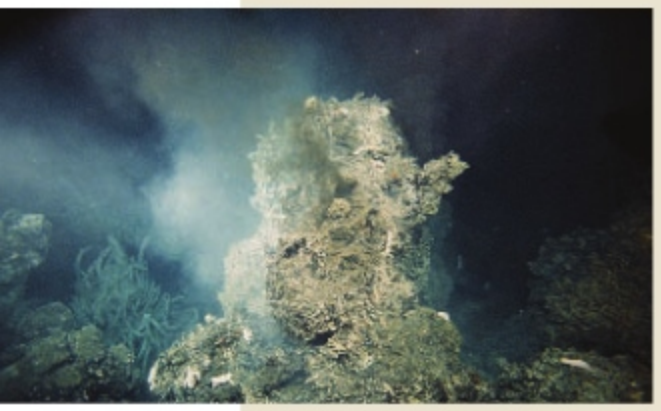
Molti animali, inclusi gli esseri umani senza istruzione matematica, hanno un senso innato dei numeri, ovvero sanno valutare almeno approssimativamente la quantità di elementi di un insieme e compiere semplici elaborazioni. Solo nella nostra specie tuttavia era stata osservata la linea mentale che ci fa percepire i numeri disposti nello spazio. L'ordine però varia con la cultura: in Occidente cresce da sinistra a destra, mentre chi usa scritture che vanno in senso opposto, come gli Arabi, dispone al contrario anche i numeri.

Nello studio, i pulcini imparano a trovare cibo dietro un pannello su cui è disegnato un certo numero di quadrati, e poi sono posti davanti a due pannelli, uno a destra e uno a sinistra, recanti un numero di quadrati diverso. Ebbene, se i nuovi quadrati sono meno dei primi, i pulcini vanno di preferenza a cercare il cibo dietro il pannello a sinistra, mentre con più quadrati vanno a destra. Altre prove hanno escluso che la scelta dipenda dall'area complessiva dei quadrati o da altre variabili: i pulcini distinguono proprio il numero.

La linea sembra quindi innata ed evolutivamente antica, e può essere, se mai, modificata dalla cultura. La causa, ipotizzano i ricercatori, potrebbe stare nell'asimmetria del cervello. L'emisfero destro ha un ruolo dominante nell'ordinare i numeri, il che ci induce a far partire la sequenza a sinistra; e poiché, sempre per propensione innata, preferiamo le sequenze in ordine crescente, il risultato è la linea che troviamo. Il risultato, in ogni caso, attesta una capacità diffusa di percepire e maneggiare in modo flessibile le quantità, che sollecita ora nuove indagini.

Giovanni Sabato

Le origini della vita



L'origine della vita presuppone che biomolecole semplici si siano accumulate formando strutture più complesse, in grado di riprodursi e di memorizzare le informazioni genetiche, e un articolo su «Nature Chemistry» descrive uno scenario molto realistico sulla comparsa delle prime forme di vita sulla Terra. Un gruppo della Ludwig-Maximilians-Universität di Monaco di Baviera ha dimostrato sperimentalmente che i micropori pieni di acqua delle rocce vulcaniche sul fondo degli oceani possono aver agito da camere di reazione per la sintesi degli acidi nucleici, le molecole dell'ereditarietà. Decisivo fu il calore localizzato su un solo lato del poro allungato, in modo che l'acqua in quel punto risultasse più calda. Queste condizioni sono state ricreate in laboratorio in capillari di vetro, riscaldati a un'estremità, al cui interno fluiva acqua con frammenti di DNA di varia lunghezza. Non solo i frammenti restano intrappolati all'interno, ma possono anche replicarsi e allungarsi: dove l'acqua è più calda i doppi filamenti di DNA si separano in pochi minuti, e migrano per convezione dove l'acqua è più fredda; qui nuovi nucleotidi (i mattoni costituenti) possono formare filamenti complementari o allungare quelli esistenti. (**EuMe**)

Un nuovo promettente super antibiotico

La resistenza agli antibiotici da parte di ceppi batterici è un importante problema di salute pubblica poiché si diffonde più velocemente rispetto alla capacità di introdurre nuovi antibiotici nelle pratiche cliniche. Uno studio pubblicato su «Nature» descrive ora un nuovo farmaco in grado di uccidere un'ampia gamma di batteri resistenti agli antibiotici disponibili senza generare, a sua volta, fenomeni di resistenza.

Per identificare il nuovo antibiotico, un gruppo di ricercatori della Northeastern University di Boston hanno esaminato 10.000 composti isolati da batteri del terreno. Uno di questi, la teixobactina, è risultato efficace nei confronti di patogeni sempre più pericolosi come *Clostridium difficilis*, *Mycobacterium tubercolosis* e *Staphylococcus aureus*. Il meccanismo d'azione del nuovo farmaco sarebbe simile a quello della vancomicina: la sostanza uccide i batteri rompendone la parete cellulare mediante il legame a molteplici bersagli, tra cui molecole lipidiche. In questo modo diventa difficile, per i microrganismi, sviluppare una resistenza al farmaco. È possibile che in futuro i batteri impareranno a difendersi anche da questo antibiotico, tuttavia gli autori ritengono che saranno necessari diversi decenni prima che si manifesti una eventuale farmacoresistenza. (**EnPr**)

Lo sguardo del lupo

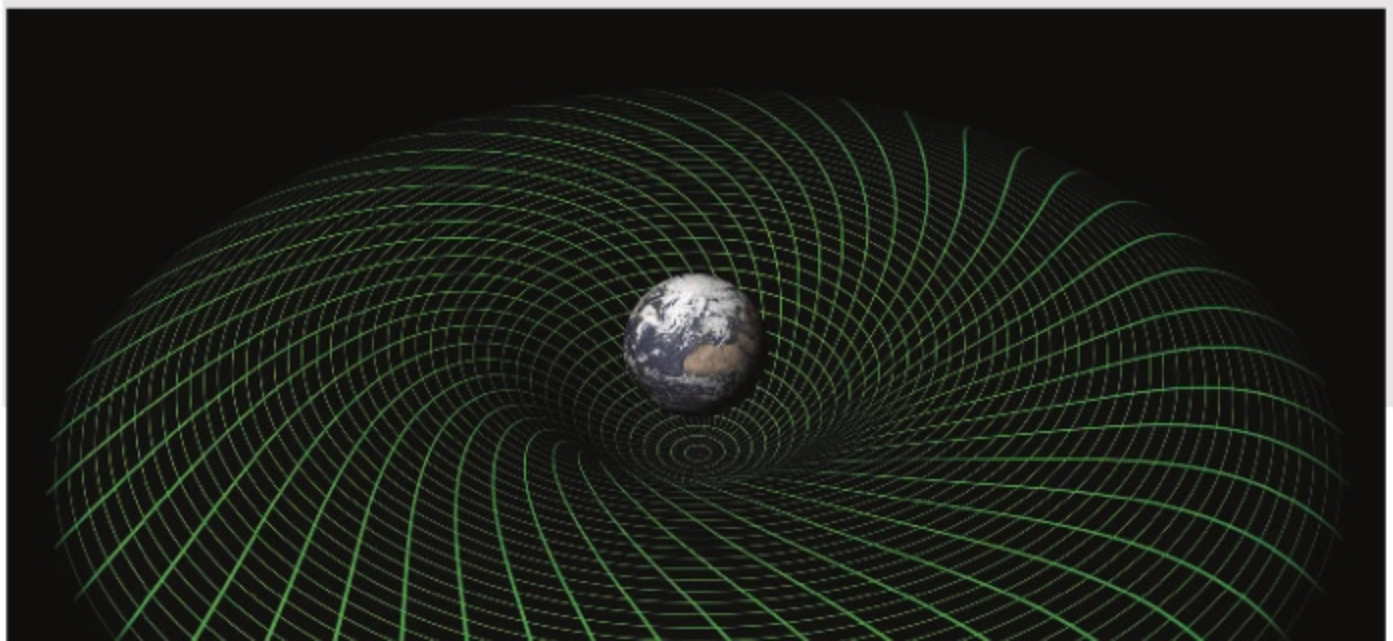
È noto che i cani fissano il volto del padrone per capirne le intenzioni. Si pensava fosse una loro capacità esclusiva, frutto di millenni di addomesticamento, ma per Friederike Range e Zsófia Virányi, del Messerli Research Institute di Vienna, non è così: anche i lupi lo fanno, come hanno mostrato con test in parallelo su cani e lupi, descritti su «Frontiers in Psychology».

In un test gli animali dovevano trovare cibo nascosto e sia i cani sia i lupi seguivano i gesti o lo sguardo delle persone per capire dove cercare. In un altro test, in cui un cane o un lupo osservava un cane addestrato ad aprire una scatola per prenderne del cibo, i lupi si sono dimostrati addirittura più bravi dei cani nel risolvere il problema. Tutto questo, concludono gli autori, indica che l'abilità dei lupi di osservare e imitare gli altri, è almeno identica a quella dei cani. Quello che distingue le due specie, è che i cani hanno meno paura degli uomini e li accettano più facilmente come partner sociali. (**AlSa**)

Misurare la curvatura gravitazionale

La curvatura del campo gravitazionale è stata misurata direttamente per la prima volta. A ottenere questo risultato è stato un gruppo guidato da Guglielmo Tino, del Laboratorio europeo di spettroscopia non lineare (LENS) dell'Università di Firenze, che mesi fa, sempre nell'ambito dell'esperimento MAGIA, aveva realizzato la prima misura della costante gravitazionale basata su un interferometro atomico. L'esperimento, descritto sulla rivista «Physical Review Letters», conferma ancora una volta la validità della teoria della relatività generale, che proprio nel 2015 compie 100 anni.

Per misurare la curvatura del campo gravitazionale, ovvero la variazione di accelerazione prodotta su una massa dalla presenza di un'altra massa, Tino e collaboratori hanno usato come sonda gravitazionale una «fontana» verticale di atomi di rubidio, immessi in una trappola magneto-ottica a vuoto e raffreddati grazie a impulsi di luce laser a una temperatura di pochi miliardesimi di kelvin. Grazie a tre interferometri atomici posti a tre quote diverse, gli atomi, alcuni eccitati, altri no, sono stati fatte interferire fra loro per misurare gli effetti sulla loro accelerazione causati dalla presenza di una massa di tungsteno sovrastante la trappola. Una tecnica, secondo i ricercatori, che potrà risultare utile anche in geofisica e geodesia. (**EmRi**)



Ralph White/Corbis (*fondo oceanico*); Louise Murray/Robert Harding World Imagery/Corbis (*lupo*); Mikkel Juul Jensen/Science Photo Library (*campo gravitazionale*);

L'antichità dei serpenti

Almeno 167 milioni di anni: tanto hanno, evolutivamente parlando, i serpenti. A spostare indietro di almeno 70 milioni di anni l'orologio che segna la comparsa di questi rettili sulla Terra è il riesame di quattro fossili, pubblicato su «Nature Communications».

I resti in questione, di età compresa tra i 140 e i 167 milioni di anni, erano stati precedentemente classificati come fossili di lucertole. Le analisi compiute ora mostrano però che si tratta di reperti che condividono caratteristiche con lucertole e serpenti, sia con quelli fossili sia con gli esemplari moderni. Inoltre, il confronto con alcune lucertole prive di zampe ha portato gli scienziati a ipotizzare che il caratteristico cranio dei serpenti si sia evoluto prima della scomparsa degli arti. La distribuzione diffusa dei resti – tre trovati in Europa occidentale e uno in Nord America – suggerisce però che molto probabilmente il fossile più antico di serpente debba ancora essere trovato. (AnLiBo)

Due pianeti in più per il sistema solare

Dato che Plutone è stato declassato nel 2006 a «pianeta nano», l'ultima scoperta di un nuovo pianeta intorno al Sole, Nettuno, risale al lontano 1846. Ma ci sono due, o più, pianeti ancora da scoprire, affermano Carlos de la Fuente Marcos, astronomo dell'Universidad Complutense di Madrid, e colleghi dell'Università di Cambridge, su «Monthly Notices of the Royal Astronomical».

I ricercatori sono partiti dal fatto che i pianetini oltre Nettuno, come Plutone, Sedna, Eris e una decina di altri, dovrebbero avere orbite quasi circolari e poco inclinate sull'equatore solare. Invece le loro orbite sono molto ellittiche, ben inclinate e con l'asse principale che punta nelle direzioni più diverse. A «sparpagliarli», hanno calcolato i ricercatori, potrebbe essere stata l'interazione gravitazionale con almeno due pianeti sconosciuti, posti a decine di miliardi di chilometri dal Sole. Fino a poco tempo fa sembrava impossibile che grandi corpi solidi potessero nascere così lontano dal Sole, ma recentemente il radiotelescopio ALMA ha scoperto che attorno a HL Tauri, una giovane stella di tipo solare, si stanno formando pianeti a oltre 15 miliardi di distanza. Anche se questi ulteriori pianeti esistessero, però, vederli non sarà facile: sarebbero poco luminosi e anche così lenti da rendere difficile distinguerli dalle stelle fisse. (AlSa)

Ben 175 tipi di pesticidi nelle acque italiane

L'edizione 2014 del *Rapporto nazionale pesticidi nelle acque*, disponibile sul sito web dell'ISPRA, basata sulle analisi di 27.995 campioni prelevati fra il 2011 e il 2012 in 19 regioni, rivela che buona parte delle acque superficiali e sotterranee italiane contiene pesticidi agricoli, soprattutto erbicidi, di ben 175 tipi diversi. Ne sono stati trovati nel 56,9 per cento dei punti di prelievo di acque superficiali, di cui sopra i livelli consentiti nel 17,2 per cento dei casi, e nel 31,0 per cento dei prelievi di acque sotterranee, con un 6,3 per cento dei casi oltre i limiti ammessi.
Confrontando i dati con quelli del 2012, non si evidenziano miglioramenti sostanziali: l'inquinamento resta diffuso e aumentano le sostanze coinvolte, benché fra il 2001 e il 2012 la vendita di pesticidi agricoli sia calata del 9,1 per cento, con un meno 30 per cento di quelli più pericolosi, segno di pratiche agricole più prudenti. Il fatto che il calo nell'uso non si traduca in un calo dell'inquinamento dipende da varie ragioni, come l'uso di pesticidi in ambiti non agricoli, la crescita del monitoraggio al centro-sud e la lunga durata di vita di certe molecole nel suolo. (AlSa)

Il campo magnetico degli asteroidi

Una ricerca pubblicata su «Nature» da Richard Harrison, dell'Università di Cambridge, e colleghi, getta una nuova luce sulle origini e sulla durata del campo magnetico degli asteroidi. Finora si ipotizzava che questo campo fosse alimentato dai moti convettivi generati nel nucleo metallico liquido nell'asteroide. Date le esigue dimensioni degli asteroidi, si pensava che il nucleo si raffreddasse rapidamente e che, una volta solidificato, cessasse anche l'attività magnetica dell'asteroide.
Tuttavia Harrison e colleghi

hanno dimostrato che il campo magnetico di questi corpi ha una durata molto più lunga, fino a diverse centinaia di milioni di anni dalla loro formazione. La scoperta è stata ottenuta analizzando campioni di due grandi meteoriti, entrambe del tipo delle pallasiti, ovvero meteoriti ferro-rocciose composte da cristalli di olivina immersi in una matrice metallica. All'interno di queste meteoriti, i ricercatori hanno individuato inclusioni nanometriche di un particolare minerale magnetico, la cui analisi ha dimostrato che il campo magnetico può essere alimentato per lungo tempo anche dai moti vorticosi prodotti durante il congelamento dell'asteroide. (EmRi)

Walter A. Weber/National Geographic Creative/Corbis (*serpenti*); Ashley Cooper/Corbis (*inquinamento*); Michael Benson/Kinetikon Pictures/Corbis (*asteroide*)

ASTRONOMIA

Meglio della Terra

I mondi più adatti a ospitare vita nell'universo potrebbero essere molto diversi dal nostro

di René Heller

Un grande pianeta roccioso «superabitabile» in orbita attorno a una stella più piccola del Sole potrebbe apparire familiare e allo stesso tempo alieno. La superficie sarebbe generalmente più pianeggiante a causa della gravità più intensa e la vegetazione potrebbe essere più scura rispetto alle piante terrestri per assorbire meglio la debole luce stellare.

Ron Miller

René Heller è *postdoctoral fellow* all'Origins Institute della McMaster University, in Canada, ed è membro del Canadian Astrobiology Training Program. Le sue ricerche si concentrano su formazione, evoluzione orbitale, individuazione e abitabilità di satelliti extrasolari.

Viviamo nel migliore dei mondi possibili? È quanto pensava il matematico tedesco Gottfried Leibniz, il quale nel 1710 scrisse che il nostro pianeta, pur con tutti i suoi difetti, deve essere il più idoneo che si possa immaginare. L'affermazione di Leibniz fu derisa da molti che la ritenevano un sogno privo di scientificità, in prima fila Voltaire nella sua opera maggiore, *Candido*. Eppure oggi Leibniz potrebbe trovarsi in sintonia con almeno un gruppo di scienziati: gli astronomi che per decenni hanno considerato la Terra come riferimento nella ricerca di pianeti al di fuori del sistema solare.

Poiché noi terrestri a oggi conosciamo un solo mondo che ospiti organismi viventi – il nostro – sembra ragionevole usare la Terra come modello nella ricerca di vita su altri pianeti, in particolare nelle regioni di Marte più simili alla Terra o su Europa, satellite di Giove che ha acqua allo stato liquido. Oggi però le scoperte di pianeti potenzialmente abitabili attorno a stelle diverse dal Sole – esopianeti, per brevità – sfidano questo approccio geocentrico.

Negli ultimi vent'anni sono stati scoperti oltre 1800 esopianeti, e semplici considerazioni statistiche indicano che nella nostra galassia ne debbano esistere almeno 100 miliardi. Di quelli finora individuati, pochi sono simili alla Terra. Anzi, gli esopianeti esibiscono una diversità enorme, con immense variazioni di orbita, grandezza e composizione, e le stelle attorno a cui orbitano sono altrettanto differenti tra loro, in parecchi casi significativamente più piccole e più deboli del Sole. Le caratteristiche diversificate di questi esopianeti, a parere mio e di altri, suggeriscono che la Terra potrebbe non essere il massimo dell'abitabilità. Anzi, alcuni esopianeti, molto diversi dal nostro, potrebbero avere probabilità molto più elevate di sviluppare e mantenere biosfere stabili. Questi «mondi superabitabili» potrebbero essere gli obiettivi ottimali nella ricerca di vita extraterrestre ed extrasolare.

Un pianeta imperfetto

Ovviamente il nostro pianeta ha un buon numero di caratteristiche che, a un primo sguardo, appaiono ideali per la vita. La Terra orbita attorno a una stella tranquilla, di mezza età, la cui luminosità costante da miliardi di anni ha offerto agli esseri viventi tempo in abbondanza per svilupparsi ed evolvere. Ha ospitali oceani di acqua allo stato liquido, soprattutto in virtù della sua collocazione nella «zona abitabile» del Sole, una regione ristretta in cui la luce della nostra stella non è né troppo intensa né troppo debole. A distanze inferiori dal Sole l'acqua evaporerebbe, mentre a distanze superiori diventerebbe ghiaccio. Anche la grandezza della Terra è favorevole alla vita: sufficiente perché il suo campo gravitazionale riesca a mantenere un'atmosfera relativamente densa, ma non tanto da trattenere una coltre opaca e soffocante di gas. Diametro e composizione rocciosa della Terra sono all'origine anche di altri fattori favorevoli all'abitabilità, come la tettonica delle zolle, che ha un ruolo di regolazione climatica, e il campo magnetico che protegge la biosfera dai danni provocati dalla radiazione cosmica.

Eppure, quanto più gli scienziati approfondiscono lo studio dell'abitabilità del nostro pianeta, tanto meno ideale esso appare. Oggi l'abitabilità varia molto da una regione all'altra della Terra, tanto che vaste parti della sua superficie sono relativamente povere di vita: si pensi ai deserti aridi, all'oceano aperto, dove le sostanze nutritive scarseggiano, e alle gelide regioni polari. L'abitabilità della Terra varia anche nel tempo. Consideriamo per esempio che, durante gran parte del Carbonifero, tra circa 350 e 300 milioni di anni fa, l'atmosfera terrestre era più calda, più umida e molto più ricca in ossigeno rispetto a oggi. Nei mari prosperavano crostacei, pesci e coralli costruttori di grandi barriere, immense foreste coprivano i continenti e insetti e altri animali terrestri raggiungevano dimensioni gigantesche. Probabilmente la Terra del Carbonifero era in grado di sostenere una quantità di biomassa significativamente maggiore dell'attuale, e questo implica che oggi

IN BREVE

Uno degli obiettivi della ricerca astronomica è la scoperta di pianeti gemelli della Terra in orbita attorno a stelle di tipo solare. Tuttavia, la rilevazione di mondi gemelli del nostro rimane un'impresa ai limiti delle possibilità tecnologiche.

«Super-Terre» più grandi, orbitanti attorno a stelle di dimensioni inferiori al Sole, sono più facili da rilevare e potrebbero essere il tipo di pianeta predominante nella Via Lattea, la nostra galassia.

Secondo nuove ipotesi, questi sistemi, come pure i satelliti massicci in orbita attorno a pianeti giganti gassosi, potrebbero anche essere superabitabili, ossia più adatti della Terra stessa a ospitare forme di vita.

la sua abitabilità possa essere considerata inferiore rispetto ad alcuni periodi del lontano passato.

Oltre a ciò, sappiamo con certezza che in futuro la Terra diventerà assai meno ospitale. Fra circa 5 miliardi di anni il Sole avrà esaurito la maggior parte del proprio combustibile, rappresentato dall'idrogeno, e nel nucleo avrà inizio la fusione dell'elio, che genera più energia; questo cambiamento farà sì che il Sole si rigonfi e diventi una «gigante rossa», incenerendo la Terra.

Prima che questo accada, tuttavia, la vita sulla Terra si sarà già estinta. A causa del progressivo consumo dell'idrogeno, la temperatura del nucleo solare salirà gradualmente, provocando un conseguente aumento della luminosità totale della nostra stella, nella misura di circa il dieci per cento ogni miliardo di anni. Un simile cambiamento implica che la zona abitabile che circonda il Sole non sia statica, ma dinamica: nel tempo si allontanerà sempre più dalla nostra stella via via più luminosa, lasciando indietro la Terra. A peggiorare la situazione, secondo recenti calcoli la Terra non si troverebbe nel centro della zona abitabile, ma vicina al suo margine interno, e quindi già prossima alla minaccia di un surriscaldamento (*si veda il box a p. 36*).

Come conseguenza, entro mezzo miliardo di anni circa il Sole sarà diventato abbastanza luminoso da provocare un riscaldamento estremamente intenso della Terra, al punto da minacciare la sopravvivenza degli organismi pluricellulari complessi. Fra circa 1,75 miliardi di anni la crescente luminosità della nostra stella renderà la Terra così calda da far evaporare gli oceani, sterminando gli ultimi esseri viventi di tipo più semplice ancora presenti sulla superficie. Di fatto, la Terra ha ormai superato la fase di abitabilità ottimale e la biosfera sta avvicinandosi al tramonto. Tutto considerato, sembra ragionevole affermare che al momento il nostro pianeta sia solo marginalmente abitabile.

La Terra ha superato la fase di abitabilità ottimale e la biosfera sta avvicinandosi al tramonto. Tutto considerato, il nostro pianeta è solo marginalmente abitabile

In cerca di un mondo superabitabile

Nel 2012, durante le mie ricerche sulla potenziale abitabilità dei satelliti massicci orbitanti attorno a pianeti giganti gassosi, iniziai a riflettere sulle possibili caratteristiche di un mondo più ospitale per la vita. Nel sistema solare il satellite più grande è Ganimede, che orbita attorno a Giove e ha una massa pari solo al 2,5 per cento di quella terrestre, insufficiente a consentirgli di conservare un'atmosfera simile a quella della Terra. Mi resi conto però che ci sono meccanismi plausibili che potrebbero portare alla formazione di satelliti con una massa prossima a quella terrestre in altri sistemi planetari, potenzialmente attorno a pianeti giganti collocati entro la zona abitabile della loro stella: questi satelliti potrebbero avere un'atmosfera non diversa da quella del nostro pianeta.

Questi «esosatelliti» massicci potrebbero essere superabitabili in virtù della ricca varietà di fonti energetiche a disposizione di una potenziale biosfera. Al contrario della vita sulla Terra, che è alimentata prevalentemente dalla luce solare, la biosfera di un esosatellite superabitabile potrebbe anche sfruttare l'energia della luce riflessa e del calore emesso dal vicino pianeta gigante, o addirittura quella del campo gravitazionale del pianeta stesso. Nel corso dell'orbita attorno al pianeta gigante, le forze mareali possono causare deformazioni ripetute della crosta del satellite, generando attrito che ne provoca il riscaldamento dall'interno. A questo processo di riscaldamento mareale è probabilmente dovuta la formazione degli oceani che si ritiene esistano sotto la superficie di Europa ed Encelado, rispettivamente satelliti di Giove e di Saturno. Detto questo, però, la diversità energetica potrebbe essere un'arma a doppio taglio per un esosatellite massiccio, perché un lieve squilibrio nella disponibilità delle fonti energetiche potrebbe farlo precipitare verso l'inabitabilità.

Finora non sono stati individuati con certezza esosatelliti, abitabili o meno, anche se prima o poi qualcuno potrebbe essere identificato negli archivi di dati raccolti da osservatori come il telescopio spaziale Kepler della NASA. Per il momento, esistenza e possibile abitabilità di questi corpi restano a livello di congettura.

Viceversa, alcuni pianeti superabitabili potrebbero essere già presenti nel nostro catalogo di esopianeti certi e da confermare. I primi esopianeti scoperti a metà degli anni novanta erano tutti giganti gassosi di massa simile a quella di Giove e con orbite troppo vicine alla loro stella per poter ospitare forme di vita. Tuttavia, grazie all'affinamento nel tempo delle tecniche per l'individuazione di pianeti, gli astronomi hanno iniziato a scoprire corpi planetari progressivamente più piccoli e con orbite più ampie e clementi. La maggior parte dei pianeti identificati negli ultimi anni è costituita dalle cosiddette super-Terre: mondi generalmente più grandi del nostro, fino a dieci masse terrestri e di raggio compreso fra quello della Terra e quello di Nettuno. Si è scoperto che simili pianeti sono comuni in altri sistemi stellari, sebbene nel nostro non esista alcun esempio confrontabile: in questo senso, anzi, il sistema solare appare atipico.

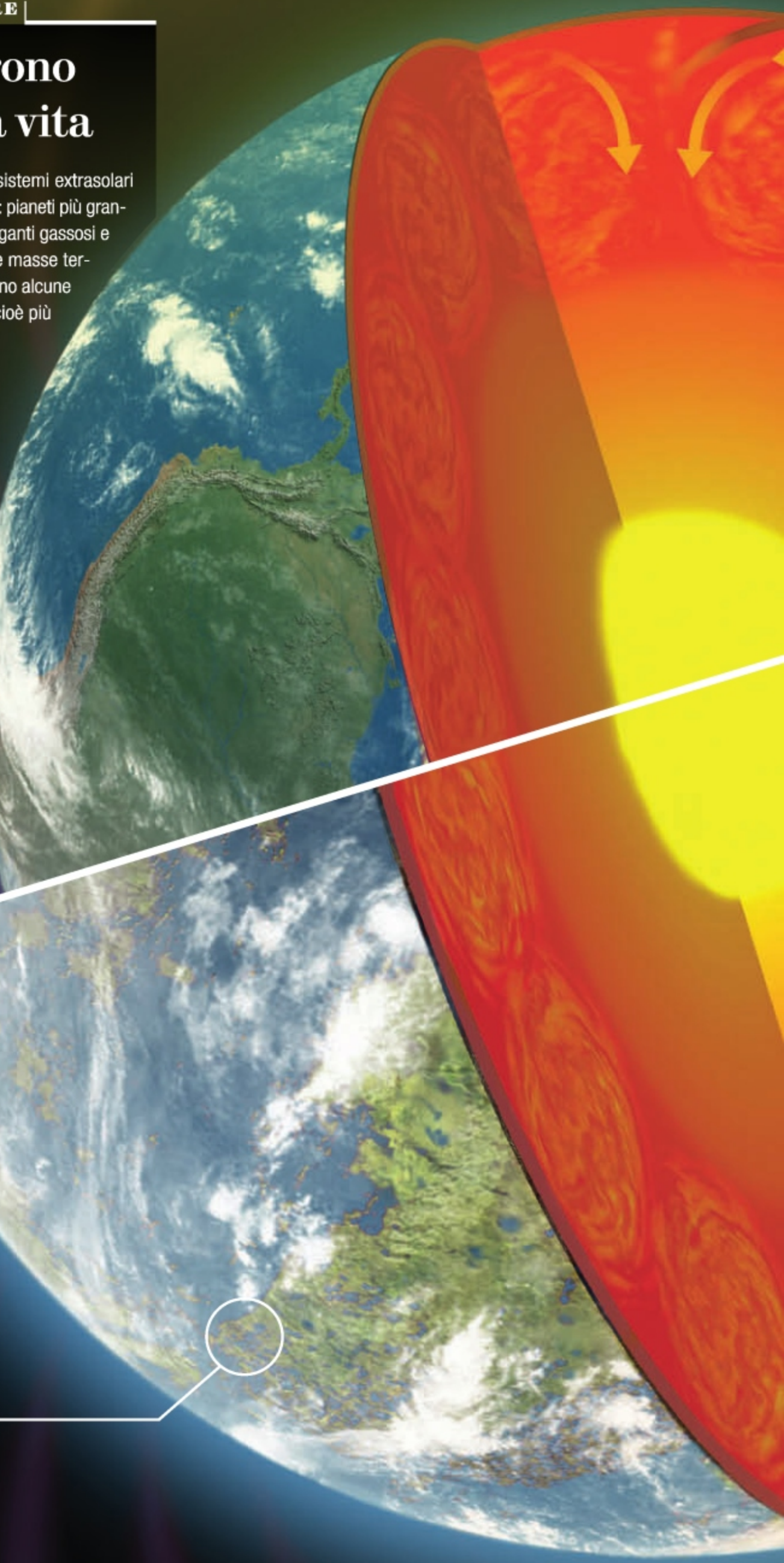
Molte delle super-Terre più massicce e di raggio più grande hanno verosimilmente un'atmosfera densa e pesante che le rende più simili a mini-Nettuni che a versioni *extra-large* della Terra. Ma è probabile che alcune fra le più piccole, con raggio pari a non più del doppio di quello terrestre, abbiano una composizione prevalentemente rocciosa e ricca in ferro, simile a quella della Terra, e potrebbero avere abbondante acqua liquida sulla superficie se la loro orbita ricadesse nella zona abitabile della stella. Oggi sappiamo che un buon numero di potenziali super-Terre rocciose orbita attorno a stelle denominate nane M e nane K, che sono più piccole, meno luminose e molto più longeve del Sole. Anche grazie alla lunga vita delle loro piccole stelle, queste Terre extra-large sono oggi i migliori candidati a pianeti superabitabili, come ho dimostrato in lavori recenti basati su modelli messi a punto in collaborazione con John Armstrong, fisico della Weber State University.

I vantaggi della longevità

Abbiamo iniziato il nostro lavoro con la premessa che una stella di vita molto lunga sia l'ingrediente basilare per la superabitabilità; in effetti, è improbabile che una biosfera planetaria possa sopravvivere alla fine della propria stella. Il Sole ha un'età di 4,6 miliardi di anni, ed è quindi arrivato circa a metà della sua esistenza, stimata in 10 miliardi di anni. Se fosse leggermente più piccolo, però, sarebbe una nana K di vita molto più lunga. Le stelle di questa classe hanno una ridotta quantità di combustibile per

Le super-Terre offrono grandi vantaggi alla vita

Gli astronomi che indagano l'esistenza di forme di vita in sistemi extrasolari concentrano sempre più le proprie ricerche sulle super-Terre: pianeti più grandi del nostro, fino a 10 masse terrestri, ma più piccoli dei giganti gassosi e quindi potenzialmente rocciosi. Le super-Terre di circa due masse terrestri sono obiettivi particolarmente promettenti perché hanno alcune proprietà (*sotto*) che potrebbero renderle «superabitabili», cioè più adatte alla vita del nostro stesso pianeta.



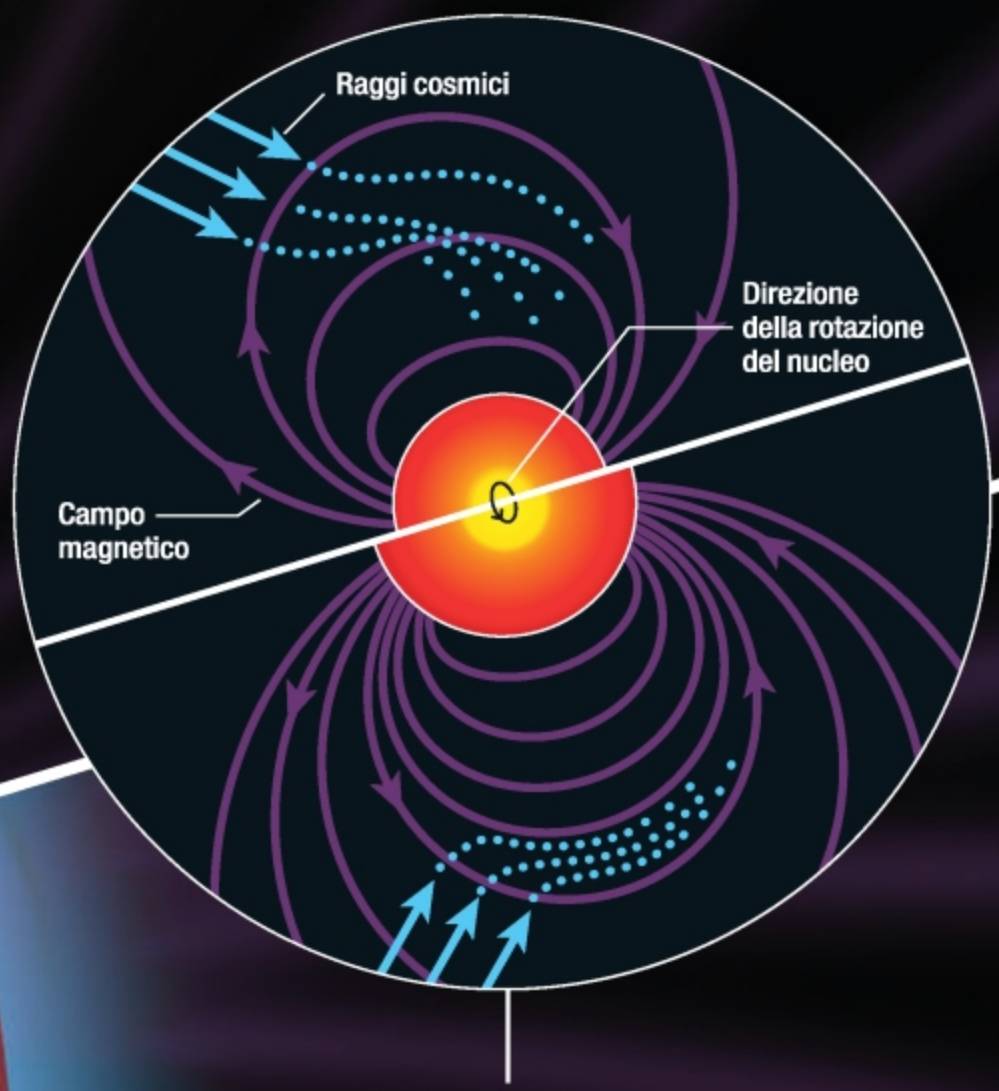
La vita sulla Terra

Il nostro pianeta ha molte caratteristiche invidiabili. La Terra orbita nella regione «ideale» attorno a una stella tranquilla, di mezza età, e ha un oceano globale che, per quanto profondo, lascia scoperte vaste zone continentali abitabili.
È sufficientemente grande da conservare un'atmosfera piuttosto densa, ma non tanto da accumulare soffocanti coltri di gas. Di composizione prevalentemente rocciosa, la Terra mantiene un calore interno sufficiente ad alimentare la tettonica delle zolle, che ha un effetto stabilizzante sul clima, e il campo magnetico che protegge il pianeta dalla radiazione cosmica.

La vita su un mondo superabitabile

Una super-Terra rocciosa superabitabile, di massa circa doppia rispetto a quella terrestre, avrebbe una gravità superficiale più intensa, con possibili conseguenze come una maggiore densità dell'atmosfera, una più elevata capacità erosiva degli agenti atmosferici e una topografia più pianeggiante. Il risultato potrebbe essere un «mondo arcipelago», con mari poco profondi disseminati di catene insulari, invece di un più familiare pianeta caratterizzato da oceani profondi e vasti continenti. Una configurazione geografica di questo tipo potrebbe essere vantaggiosa per la vita, considerando che sulla Terra gli arcipelaghi isolati sono tra i siti più densi e diversificati dal punto di vista biologico. Tuttavia, le caratteristiche cruciali per la superabitabilità di una super-Terra vanno cercate molto al di sotto di questi lineamenti superficiali, nell'interno del pianeta (*pagina a fronte*).

Ron Miller (*pianeti*), Jen Christiansen (*riquadro*)



Un nucleo inestinguibile

Una super-Terra rocciosa di circa due masse terrestri dovrebbe conservare una quantità significativamente superiore del proprio calore endogeno, in parte originato al momento della formazione planetaria e in parte dovuto al decadimento di isotopi radioattivi. Questa riserva di calore potrebbe generare un nucleo fuso in rotazione simile a quello terrestre, ma molto più duraturo, in grado di indurre attorno al pianeta un potente campo magnetico che protegge atmosfera e superficie dagli effetti distruttivi dei raggi cosmici.

Un ciclo perpetuo del carbonio

Il calore convettivo (*frecce in arancione*) più intenso all'interno di una super-Terra potrebbe contribuire a mantenere vulcanismo e tettonica delle zolle per tempi più lunghi di quanto sia possibile sulla Terra. Questi processi sono vitali nella regolazione del ciclo planetario del carbonio e quindi del clima. I vulcani emettono in atmosfera anidride carbonica, un gas che contribuisce a trattenere il calore, e le piogge fanno sì che questo gas sia lentamente reintegrato nelle rocce. La tettonica delle zolle trasporta queste rocce all'interno del pianeta, dove l'anidride carbonica viene liberata e infine ritorna in atmosfera tramite il vulcanismo. Secondo i modelli teorici, le super-Terre con una massa pari a 3-5 masse terrestri potrebbero essere troppo voluminose per avere una tettonica delle zolle; i pianeti di circa due masse terrestri potrebbero quindi essere i migliori candidati alla superabitabilità.

Luce stellare costante

Indipendentemente dalle proprietà di un pianeta, la sua abitabilità è in gran parte funzione della stella attorno a cui orbita. Le stelle più piccole del Sole bruciano in maniera efficiente il proprio combustibile nucleare e possono essere molto più longeve, offrendo ai propri pianeti un tempo assai maggiore per sviluppare biosfere robuste. Le piccole e deboli stelle denominate nane K possono sopravvivere per decine di miliardi di anni, rispetto ai 10 miliardi di anni stimati per il Sole, bilanciando in maniera adeguata una radiazione stellare sufficiente e una grande longevità. Una piccola super-Terra orbitante nella zona abitabile di una nana K potrebbe trovarsi nella situazione ottimale per la superabitabilità.

la fusione nucleare rispetto alle stelle massicce, ma ne fanno un uso molto più efficiente, prolungando così la propria esistenza. Le nane K di mezza età che osserviamo oggi sono più vecchie di miliardi di anni rispetto al Sole e splenderanno ancora miliardi di anni dopo che quest'ultimo si sarà estinto. Le potenziali biosfere esistenti sui loro pianeti avranno quindi molto più tempo a disposizione per evolvere e diversificarsi.

Una nana K appare un po' più rossa del Sole perché la sua emissione luminosa è più spostata verso l'infrarosso, ma l'intervallo spettrale potrebbe comunque permettere la fotosintesi sulla superficie di un pianeta. Le nane M sono ancora più piccole e parsimoniose, e possono splendere ininterrottamente per centinaia di miliardi di anni, ma la loro emissione è così debole che la zona abitabile che le circonda deve essere estremamente vicina, al punto da poter esporre eventuali pianeti a intensi brillamenti stellari e ad altri fenomeni pericolosi. Essendo più longeve del Sole, ma non insidiosamente deboli, le nane K sembrano associate alle condizioni ottimali per la superabitabilità.

Oggi alcune di queste stelle di lunga vita potrebbero ospitare super-Terre rocciose la cui età è di alcuni miliardi di anni più grande rispetto a quella del sistema solare. La genesi della vita in questi sistemi planetari potrebbe essere molto più antica della nascita del Sole e forse gli organismi viventi che li popolano avevano già miliardi di anni di evoluzione alle spalle quando la prima biomolecola comparve nel brodo primordiale sulla giovane Terra. Sono affascinato dalla possibilità che una biosfera su questi antichi mondi possa aver modificato il proprio ambiente globale per migliorarne l'abitabilità, come del resto ha fatto la vita sulla Terra.

Un esempio eloquente è il «grande evento di ossigenazione» di 2,4 miliardi di anni fa, quando rilevanti quantità di ossigeno iniziarono ad accumularsi nell'atmosfera terrestre. Emesso probabilmente dalle alghe che popolavano gli oceani, l'ossigeno determinò l'evoluzione di forme di metabolismo più energetiche, che permisero la comparsa di organismi di taglia maggiore, più longevi e più attivi. Fu un passo avanti fondamentale nel percorso che portò gli esseri viventi a lasciare gradualmente gli oceani e a colonizzare i continenti. Se anche le biosfere aliene fossero in grado di esercitare analoghi effetti di miglioramento ambientale, potremmo attenderci che l'abitabilità dei pianeti orbitanti attorno a stelle di lunga vita aumenti in qualche misura con il passare del tempo.

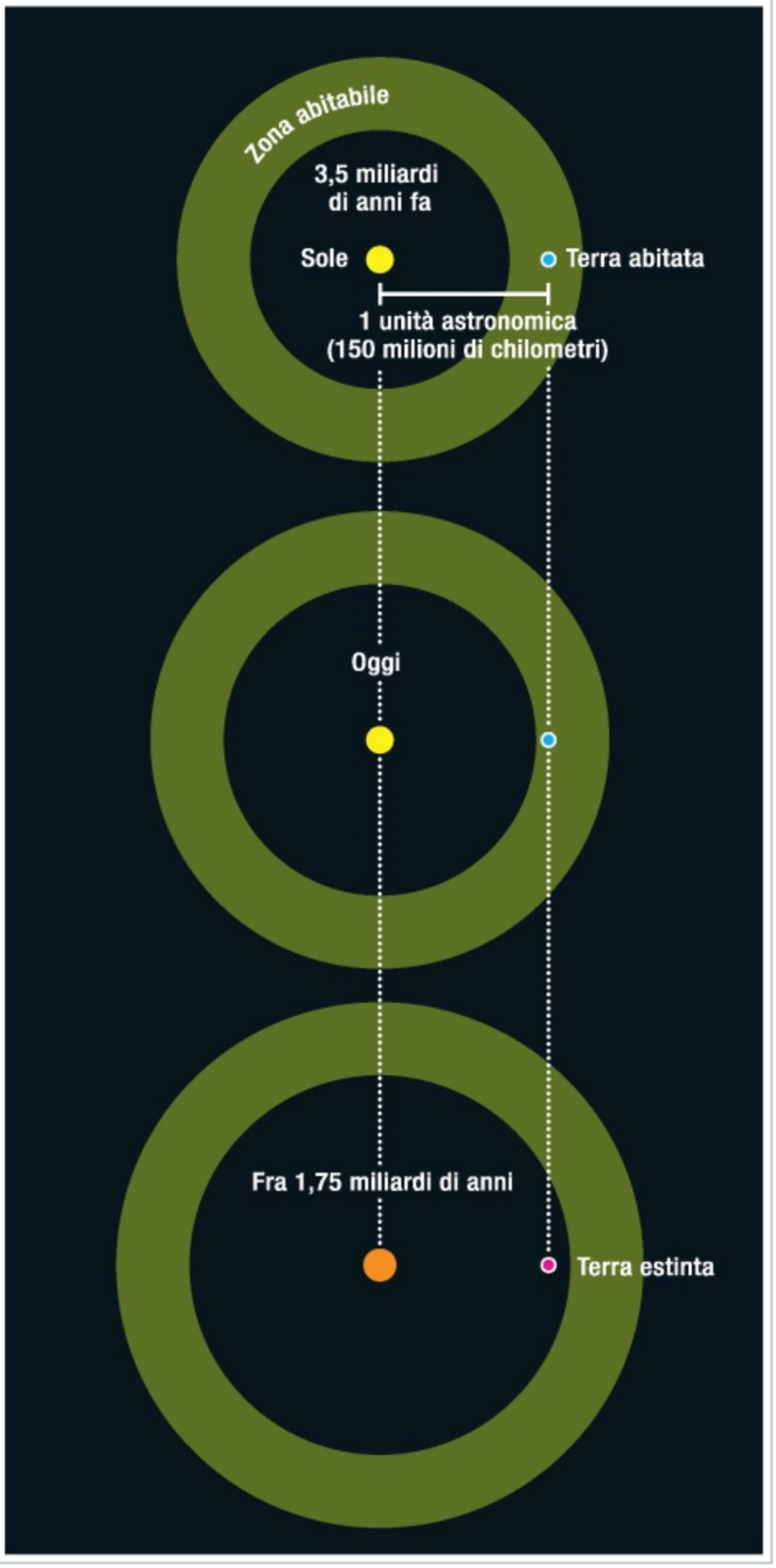
Per essere superabitabili, gli esopianeti di stelle piccole e longeve dovrebbero avere una massa maggiore di quella della Terra. Questa «taglia in più» potrebbe scongiurare due probabili disastri che incombono sui pianeti rocciosi nel corso dell'invecchiamento. Se la Terra fosse situata nella zona abitabile di una piccola nana K, il suo interno si raffredderebbe molto prima della morte della stella, inibendo l'abitabilità. Il calore interno di un pianeta è all'origine delle eruzioni vulcaniche e della tettonica delle zolle, processi che riciclano e mantengono a livello più o meno costante un importante gas serra, l'anidride carbonica. In assenza di questi processi, il livello di CO_2 si ridurrebbe progressivamente perché il gas, solubile nell'acqua piovana, verrebbe sottratto all'atmosfera e sequestrato nelle rocce. A un certo punto l'effetto serra globale, che dipende dalla CO_2, si interromperebbe, aumentando la probabilità che un pianeta simile alla Terra si trasformi in una «palla di neve» inabitabile con il congelamento di tutta l'acqua superficiale.

Prima ancora del possibile blocco della mitigazione climatica associata all'effetto serra, il raffreddamento dell'interno di un antico pianeta roccioso provocherebbe il collasso del campo magnetico protettivo. La Terra è schermata da un campo magnetico ge-

IL MOMENTO DELLA VITA AL SOLE

Invecchiando, le stelle surriscaldano i pianeti

Alla scala temporale umana, la zona abitabile di una stella appare statica. Ma, dato che la luminosità stellare aumenta nel tempo, nel corso di periodi lunghissimi la zona abitabile migra verso l'esterno e, prima o poi, lascia indietro i pianeti che ospitano forme di vita. La Terra è prossima al margine interno della zona abitabile del Sole, e fra circa 1,75 miliardi di anni diventerà troppo calda per avere acqua allo stato liquido. Dato che le stelle più piccole e meno luminose del Sole sono anche più longeve, le loro zone abitabili possono rimanere stabili per decine di miliardi di anni, quindi la vita dei pianeti che si trovano nell'interno di queste zone potrebbe essere corrispondentemente più lunga.



Jen Christiansen

nerato dalla rotazione del nucleo convettivo di ferro fuso, che agisce come una dinamo. Il nucleo rimane liquido grazie al calore residuo della formazione del pianeta, oltre che al decadimento di isotopi radioattivi. Quando la riserva di calore interno di un pianeta si esaurisce, il nucleo si solidifica, la dinamo smette di funzionare e il campo magnetico scompare, permettendo alla radiazione cosmica e a quella generata dai brillamenti stellari di erodere l'alta atmosfera e raggiungere la superficie. Dunque, si può prevedere che nel tempo gli antichi pianeti simili alla Terra perdano nello spazio una parte rilevante di atmosfera e che livelli più elevati di radiazioni dannose possano minacciare la vita sulla superficie.

Le super-Terre rocciose grandi fino al doppio del nostro pianeta dovrebbero invecchiare meglio della Terra, conservando molto più a lungo il calore interno grazie alla massa significativamente maggiore. Ma i pianeti più grandi di 3-5 masse terrestri potrebbero avere dimensioni eccessive per la tettonica delle zolle, dato

Un mondo superabitabile dovrebbe essere leggermente più grande della Terra e orbitare attorno a una stella un po' più piccola e debole del Sole

che pressione e viscosità nel loro mantello sarebbero così elevate da inibire il necessario flusso di calore verso l'esterno. Un pianeta roccioso di massa doppia di quella terrestre dovrebbe avere comunque una tettonica delle zolle ed essere in grado di conservare cicli geologici e campo magnetico per diversi miliardi di anni in più di quanto potrà fare la Terra. Un simile pianeta avrebbe anche un diametro del 25 per cento maggiore rispetto a quello della Terra, e quindi gli esseri viventi disporrebbero di una superficie abitabile più estesa, di circa il 56 per cento.

La vita su una super-Terra superabitabile

Che aspetto potrebbe avere un pianeta superabitabile? La gravità superficiale relativamente intensa di una super-Terra di medie dimensioni tenderebbe ad aumentare di poco densità dell'atmosfera e velocità di erosione delle catene montuose. In altri termini, il pianeta avrebbe un'aria un po' più pesante e una superficie più piatta rispetto alla Terra. Se ci fossero oceani, la conformazione pianeggiante della superficie porterebbe l'acqua ad accumularsi in un gran numero di mari poco profondi disseminati di catene insulari anziché in grandi bacini abissali alternati a pochi continenti di grandi dimensioni (*si veda il box alle pp. 34-35*). Poiché negli oceani terrestri la massima biodiversità si osserva nelle acque basse delle piattaforme continentali, un simile «mondo arcipelago» potrebbe essere assai vantaggioso per la vita. Inoltre l'evoluzione potrebbe svolgersi più velocemente negli ecosistemi insulari isolati, incrementando potenzialmente la biodiversità.

Essendo privo di vasti continenti, un mondo arcipelago offrirebbe agli organismi che vivono sulla terraferma una superficie emersa meno estesa rispetto a un mondo continentale, il che potrebbe ridurre l'abitabilità globale. Questa conclusione non è però scontata, soprattutto perché le aree centrali di un continente, essendo distanti dall'aria oceanica umida e temperata, avrebbero buone probabilità di essere desertiche. Inoltre la superficie abitabile di un pianeta può essere drasticamente influenzata dall'orientazione del suo asse di rotazione rispetto al piano dell'orbita attorno alla stella.

L'inclinazione dell'asse terrestre, per esempio, è di circa 23,4 gradi, genera cambiamenti stagionali e modera le differenze di temperatura, potenzialmente estreme, tra calde regioni equatoriali e più fredde zone polari. Rispetto alla Terra, un mondo arcipelago con un'inclinazione assiale favorevole potrebbe avere una fascia equatoriale relativamente calda e allo stesso tempo zone polari tiepide e prive di ghiacci; in virtù del diametro maggiore e della più ampia area superficiale globale, le terre emerse abitabili di un simile pianeta potrebbero avere un'estensione anche maggiore rispetto a un mondo identico, ma con vasti continenti.

Nel complesso, queste considerazioni sulle caratteristiche importanti per l'abitabilità indicano che un mondo superabitabile dovrebbe essere poco più grande della Terra e orbitare attorno a una stella poco più piccola e debole del Sole. Questa conclusione, se è corretta, implica prospettive entusiasmanti perché, su distanze interstellari, le super-Terre in orbita attorno a stelle piccole sono molto più facili da individuare e studiare rispetto a gemelli del sistema Terra-Sole. Finora le statistiche delle indagini effettuate in cerca di esopianeti indicano che nella nostra galassia le super-Terre in orbita attorno a stelle piccole sono più abbondanti degli analoghi del sistema Terra-Sole. Sembra dunque che gli astronomi dispongano di un numero più grande di luoghi affascinanti dove cercare la vita rispetto a quanto ritenuto in passato.

A questo proposito va citata una delle scoperte più interessanti di Kepler, annunciata ad aprile 2014: il pianeta Kepler-186f. Ha un diametro maggiore dell'11 per cento rispetto a quello terrestre, una composizione probabilmente rocciosa e orbita nella zona abitabile della sua stella, una nana M. La sua età probabile è di alcuni miliardi di anni, forse superiore a quella della Terra. Trovandosi a una distanza di 500 anni luce, è al di fuori dalla portata delle osservazioni attuali e del prossimo futuro, che potrebbero fornire ulteriori elementi per valutarne l'abitabilità, ma, per quanto ne sappiamo, potrebbe essere un mondo arcipelago superabitabile.

Possibili mondi superabitabili in orbita attorno a piccole stelle più prossime a noi potrebbero essere individuati a breve termine da vari progetti di ricerca, soprattutto dalla missione PLATO dell'Agenzia spaziale europea, il cui lancio è programmato per il 2024. Questi sistemi vicini potrebbero anche diventare obiettivi del James Webb Space Telescope, che secondo le previsioni verrà lanciato nel 2018 e cercherà indizi della presenza di vita nell'atmosfera di un piccolo numero di mondi potenzialmente superabitabili. Se avremo fortuna, potremo presto indicare un punto del cielo dove esiste un mondo più perfetto del nostro. ■

PER APPROFONDIRE

Habitable Climates: The Influence of Obliquity. Spiegel D.S., Menou K. e Scharf C.A., in «Astrophysical Journal», Vol. 691, n. 1, pp. 596-610, 20 gennaio 2009.

Exomoon Habitability Constrained by Illumination and Tidal Heating. Heller R. e Barnes R., in «Astrobiology», Vol. 13, n. 1, pp. 18-46, 2013.

Habitable Zone Lifetimes of Exoplanets around Main Sequence Stars. Rushby A.J., Claire M.W., Osborn H. e Watson A.J., in «Astrobiology», Vol. 13, n. 9, pp. 833-849, 18 settembre 2013.

Superhabitable Worlds. Heller R. e Armstrong J., in «Astrobiology», Vol. 14, n. 1, pp. 50-66, 16 gennaio 2014.

Nuove Terre al di là del Sole. Sasselov D.D. e Valencia D., in «Le Scienze» n. 506, ottobre 2010.

Albe di cieli lontani. Lemonick M.D., in «Le Scienze» n. 541, settembre 2013.

In cerca di vita sulle lune aliene. Billings L., in «Le Scienze» n. 546, febbraio 2014.

MEDICINA

In alcuni malati di cancro, virus modificati per distruggere le cellule tumorali funzionano come un farmaco: ora gli scienziati puntano a migliorare questo successo

Terapia virale contro il cancro

di Douglas J. Mahoney, David F. Stojdl e Gordon Laird

IN BREVE

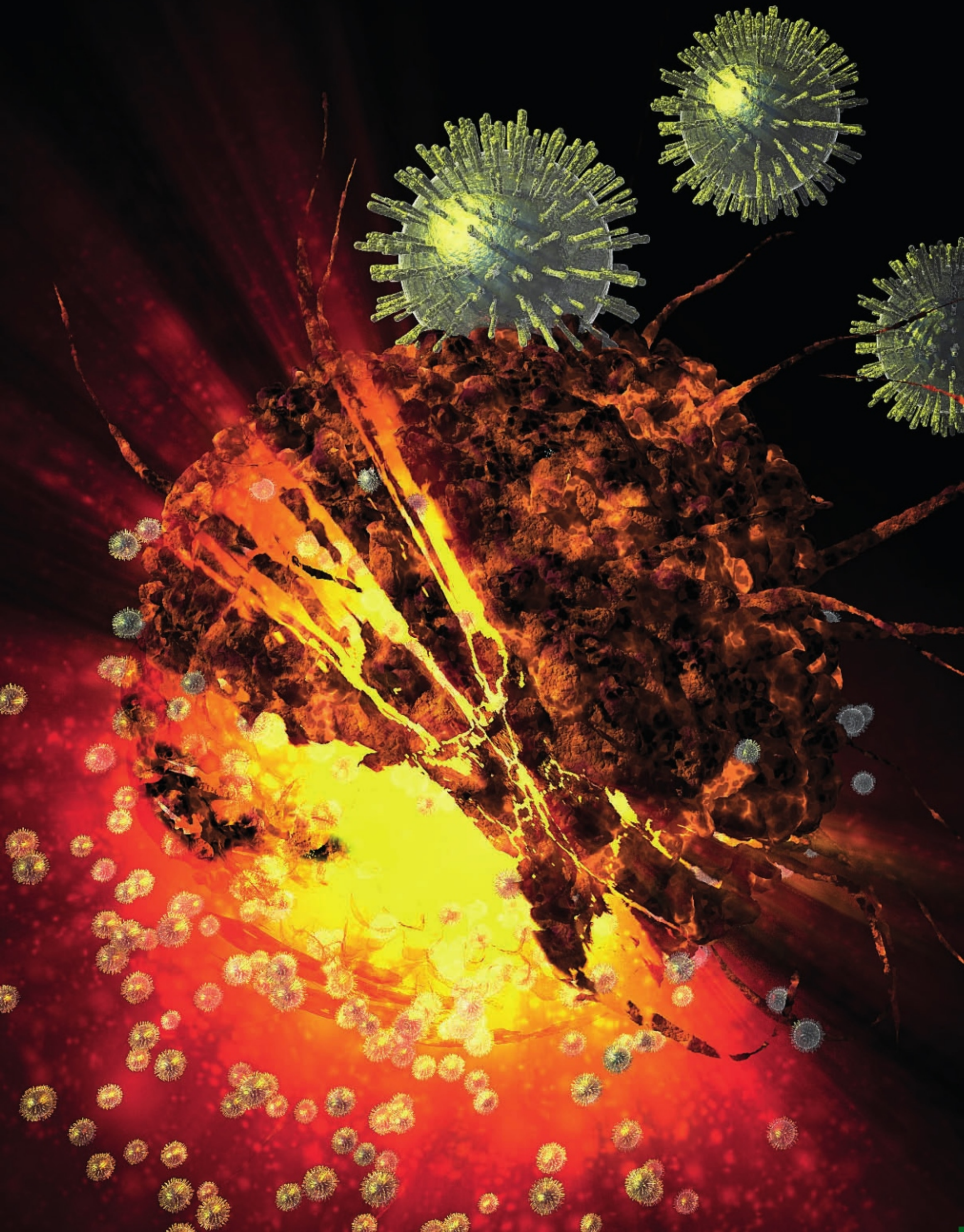
Virus ingegnerizzati potrebbero infettare e distruggere tumori umani senza danneggiare in modo apprezzabile i tessuti sani.

Una volta dentro un tumore, i virus «oncolitici» si replicano, producendo un esercito di cloni capaci di cercare e infettare sempre più cellule tumorali.

Una dozzina di virus sono in fase di test sugli esseri umani come terapie individuali o in combinazione con terapie già esistenti. Diversi di questi test sono già all'ultimo stadio di valutazione clinica.

Inizialmente i ricercatori avevano cercato di sopprimere il sistema immunitario per dare ai virus il tempo di agire sulle cellule tumorali prima che fossero aggrediti dall'organismo perché estranei. Con un approccio opposto, oggi i ricercatori cercano di ingegnerizzare virus che sollecitino il sistema immunitario a combattere il tumore.

Illustrazione di GUYCO



Nel 1904 una donna in Italia affrontò due eventi che la misero in pericolo di vita: prima le fu diagnosticato un tumore alla cervice uterina, poi venne morsa da un cane. I medici le somministrano il vaccino antirabbico per il morso, e subito dopo il suo tumore «incredibilmente grande» scomparve («il tumore non esisteva più»). La donna visse senza sviluppare recidive fino al 1912. In seguito diverse altre pazienti italiane con un tumore cervicale ricevettero il vaccino, un virus della rabbia vivo che era stato attenuato. Come riferì Nicola De Pace nel 1910, in alcune pazienti i tumori si erano ridotti, presumibilmente perché il virus aveva ucciso il cancro in qualche modo. Tutte le donne però alla fine svilupparono una recidiva e morirono.

Sebbene le pazienti fossero decedute, era nata l'idea che si potesse curare il cancro con virus capaci di uccidere le cellule maligne, oggi chiamata viroterapia oncolitica. E i ricercatori ebbero un certo successo con i modelli animali. Eppure per molto tempo solo risposte parziali e rare cure in trial clinici sugli esseri umani garantirono a questo campo di rimanere ai margini della ricerca sul cancro. La terapia virale contro il cancro dovette vedersela con diversi ostacoli: l'incertezza sui suoi meccanismi e su come usare i virus per ottenere cure, mancanza di strumenti con cui ingegnerizzare ceppi virali più efficaci e l'abituale riluttanza dei medici a infettare i pazienti con patogeni. I medici scelsero di usare veleni (chemioterapia) invece di microbi, soprattutto perché erano più a proprio agio con queste sostanze e le capivano meglio.

Oggi la storia è molto diversa. A partire dagli anni novanta, ricercatori armati di conoscenze più approfondite su cancro e virus e di strumenti con cui manipolare i geni hanno iniziato a scoprire i dettagli dell'attacco dei virus alle cellule tumorali. Gli scienziati hanno anche iniziato a sviluppare tecniche con cui modificare geneticamente i virus in modo da aumentarne la capacità di uccidere i tumori e da impedire loro di causare effetti indesiderati.

Quel lavoro inizia a pagare. Nel 2005 un virus oncolitico è stato approvato in Cina per il tumore della testa e del collo, e quasi una dozzina di virus sono oggi in varie fasi di sperimentazione sull'uomo in un'ampia varietà di tumori. Risultati recenti dai test attualmente più avanzati fanno sperare che la Food and Drug Administration degli Stati Uniti approverà uno o più virus come terapia anticancro entro un paio di anni.

In particolare, i risultati presentati all'incontro annuale dell'American Society of Clinical Oncology nel giugno 2013 hanno mostrato che dopo la terapia l'11 per cento dei pazienti coinvolti in un ampio trial di viroterapia contro il melanoma (un tumore della pelle) in fase avanzata di metastasi mostravano «una risposta completa», cioè non presentavano più segni di tumore. Il farmaco, chiamato T-VEC, è formato da una versione del virus dell'herpes simplex modificata geneticamente in modo da colpire il tumore con un doppio colpo: distruggendo le cellule tumorali direttamente e producendo una proteina (chiamata GM-CSF) la cui funzione è stimolare il sistema immunitario affinché aggredisca anche il tumore. Contrariamente agli effetti collaterali di molte terapie anticancro, gli effetti peggiori causati dal virus in questo studio sono stati sintomi simili a quelli dell'influenza, come senso di sposatezza, brividi e febbre. Tra novembre 2013 e la primavera 2014 la Amgen, la società che produce il farmaco, ha diffuso i dati relativi alla sopravvivenza generale. I pazienti che prendevano T-VEC guadagnavano quattro mesi di vita rispetto a quelli che prendevano il solo GM-CSF.

Douglas J. Mahoney è *assistant professor* al Dipartimento di microbiologia, immunologia e malattie infettive dell'Università di Calgary.

David F. Stojdl è professore associato al Dipartimento di pediatria e biochimica, microbiologia e immunologia dell'Università di Ottawa, e *senior researcher* al Children's Hospital dell'Eastern Ontario Research Institute. È anche cofondatore di un'azienda di viroterapia anticancro, che di recente è stata venduta a SillaJen.

Gordon Laird è uno scrittore i cui articoli ed editoriali sono stati pubblicati da CNN, BBC, NPR e altri ancora. Ha vinto diversi National Magazine Award.

I dati della sopravvivenza possono sembrare deludenti. Tuttavia, i ricercatori sono incoraggiati dal fatto che il dieci per cento dei pazienti ha mostrato una risposta completa. I tassi di successo ottenuti dal T-VEC hanno superato quelli di tutti i farmaci approvati di recente per la cura del melanoma metastatico, inclusi quelli ottenuti con un farmaco chiamato vemurafenib, approvato contro il cancro nel 2011, dopo che uno studio pubblicato dal «New England Journal of Medicine» aveva stabilito che tutti i segnali di tumore erano scomparsi in una percentuale assai più piccola di pazienti (meno dell'uno per cento).

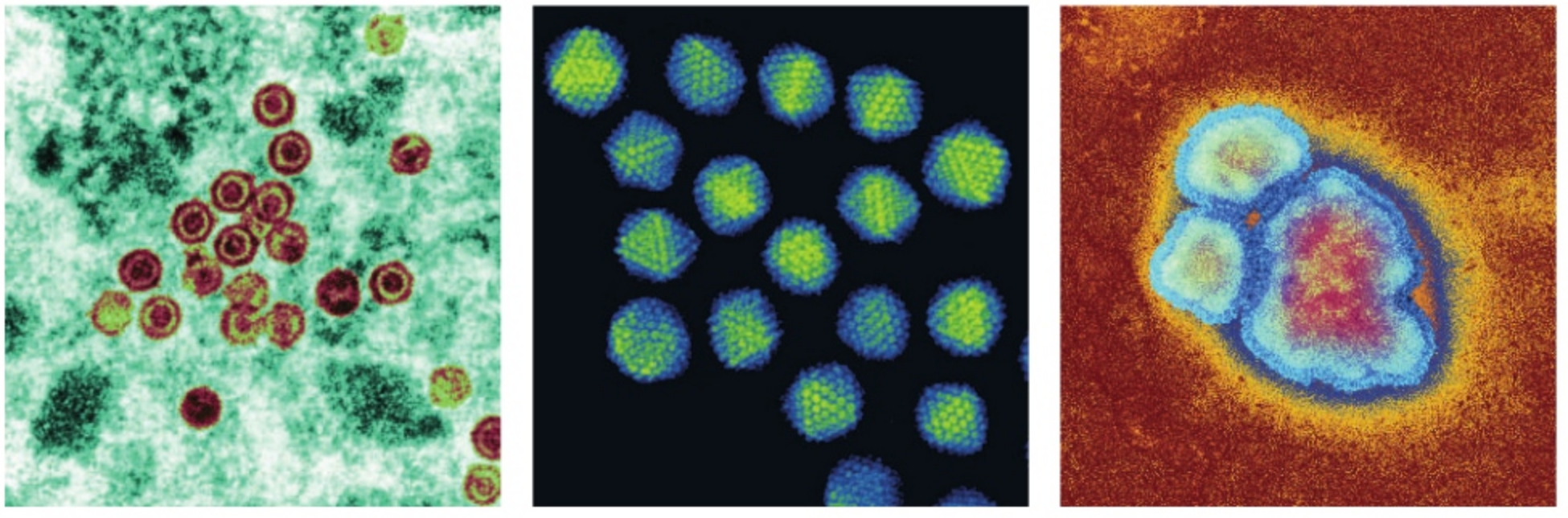
Più incoraggiante ancora, nel caso del T-VEC, è un rapporto del 2009 in cui era mostrato che una percentuale vicina al 90 per cento dei pazienti che avevano risposto alla terapia era ancora in vita più di tre anni dopo la cura. Una donna del New Jersey di nome Sue Bohlin, per esempio, per il suo melanoma non aveva ottenuto risultati con le terapie standard, e il tumore aveva continuato a diffondersi. Così la paziente era stata coinvolta in un trial clinico con il T-VEC. Tre anni dopo la terapia con questo farmaco Bohlin, che oggi ha 61 anni, non mostra più segni di tumore. «Sono una dei fortunati», dice. «Per me questo farmaco ha fatto cose meravigliose».

Ovviamente l'obiettivo è fare dell'esperienza di Bohlin la norma, in modo che più dell'11 per cento dei pazienti possa veder sparire il proprio tumore. Alcuni virus in fase di sperimentazione clinica potrebbero ottenere questo risultato. Nel frattempo i ricercatori, fra cui anche due di noi (Stojdl e Mahoney) continuano a esaminare nuove strategie per rendere la viroterapia più efficace per molte persone.

Macchine biologiche programmabili

I virus hanno molte caratteristiche attraenti per la terapia del cancro, e gli scienziati cercano di potenziarle in modo da aumentarne potenza e sicurezza. Innanzitutto certi virus – per conto proprio o con qualche stimolo – infetteranno selettivamente le mcellule tumorali ignorando quelle sane o cresceranno a dovere solo in cellule tumorali, lasciando quelle normali relativamente inalterate. Questa selettività è importante per minimizzare gli effetti collaterali, causati principalmente da danni ai tessuti normali.

Una volta dentro una cellula tumorale, i virus possono essere potenti macchine assassine. Nessun virus può replicarsi autonomamente, ma se trova le condizioni giuste in una cellula può dirottare il macchinario cellulare che copia i geni e sintetizza le proteine cel-



Killer tumorali programmati. Virus dell'herpes simplex, adenovirus e virus del morbillo (*da sinistra a destra*) sono tre di una dozzina di virus ingegnerizzati per infettare e uccidere cellule tumorali e, in alcuni casi, sollecitare il sistema immunitario a rispondere alla malattia.

lulari per produrre nuove copie di se stesso. Se in una terapia anticancro tutto procede come deve, un virus genererà un esercito di cloni che uscirà dalla cellula tumorale infetta per cercare e infettare cellule cancerose vicine o anche lontane. A volte i virus fanno letteralmente scoppiare la cellula mentre escono, un processo chiamato lisi cellulare, da cui il nome di viroterapia oncolitica. In altri casi i virus uccidono più furtivamente, programmando una cellula tumorale in modo da iniziare una sequenza di autodistruzione, chiamata suicidio cellulare o apoptosi. In pratica i virus somministrati come fossero un farmaco trasformano le cellule infette in fabbriche all'interno dell'organismo, le quali producono in serie sempre più farmaco e poi concludono l'affare.

Un altro componente vantaggioso della viroterapia è il suo approccio variegato nell'aggressione del tumore. Molti farmaci anticancro interferiscono solo con un aspetto del funzionamento cellulare, uno svantaggio comune perché le cellule maligne trovano spesso il modo di rimediare a questo effetto. Inoltre i vari tumori sono davvero un ecosistema di cellule che discendono tutte da un'unica progenitrice impazzita, ma che ora hanno diverse aberrazioni genetiche e di altra natura, quindi un farmaco che funziona su alcune di esse può anche non funzionare su altre. Queste sono due ragioni per cui i tumori diventano resistenti ai trattamenti, permettendo al cancro di riemergere e uccidere i pazienti. Per questi motivi spesso i medici attaccano il cancro da molteplici fronti con più di un tipo di trattamento, in modo simile ai dottori che curano i pazienti con HIV. La viroterapia di per sé è più simile a una terapia combinata che a una singola terapia, perché i virus distruggono molti processi in una volta sola nella cellula, in modo che la cellula abbia meno probabilità di diventare resistente.

Oltre a distruggere direttamente le cellule tumorali, quando un virus infetta una cellula, attiva diversi meccanismi che possono uccidere le cellule tumorali diventate resistenti all'infezione, compreso il cosiddetto collasso vascolare (*si veda il box a p. 42*). I virus oncolitici sono prevalentemente selettivi per le cellule tumorali, ma alcuni ceppi infettano anche i vasi sanguigni tumorali. Questa infezione secondaria, a sua volta, attira le cellule immunitarie, che danneggiano i vasi sanguigni soffocando il flusso ematico verso il tumore. Un altro importante meccanismo coinvolge il reclutamento di cellule immunitarie verso il tumore per combattere l'infezione iniziale. Per lungo tempo questa risposta immunitaria è stata considerata uno dei principali ostacoli al successo della viroterapia: dopotutto, un attacco rapido ed energico dovrebbe, in teoria, eliminare le cellule infettate dal virus prima che i virus raggiungano molte altre cellule. Infatti all'inizio gli sforzi si erano concentrati sull'obiettivo di tenere alla larga il sistema immunitario, in modo da dare al virus il tempo di infiltrare il tumore.

Tuttavia ricerche più recenti hanno dimostrato che a volte queste cellule immunitarie vengono dirottate verso il cancro stesso e in molti casi sono essenziali per il successo terapeutico. Anche se non conosciamo i dettagli di come, quando e perché si verifichi questo passaggio cruciale, sappiamo che il processo di infezione e di uccisione delle cellule tumorali produce detriti cellulari i quali inducono la produzione di piccole molecole immunostimolanti chiamate citochine, inoltre il processo di infezione attiva le cellule dendritiche del sistema immunitario. Normalmente le cellule dendritiche sorvegliano il corpo in cerca di qualsiasi entità che non sia propria dell'organismo e avvertono i linfociti T del sistema immunitario affinché provochino una risposta immunitaria contro un invasore. In questo caso si ritiene che le cellule dendritiche trattino le componenti tumorali come fossero estranee, e che risveglino il sistema immunitario avvertendolo del fatto che sta crescendo un tumore.

Oltre a tutti questi potenziali benefici, i virus ingegnerizzati possono essere programmati per comportarsi in modi in cui i virus naturali non potrebbero comportarsi: le modifiche genetiche, per esempio, possono diminuire la loro capacità di riprodursi in cellule sane e aumentare la replicazione selettiva nelle cellule tumorali. Il genoma virale può anche essere ritoccato in modo da dotare i virus di altre caratteristiche che contrastino il cancro, come la capacità del virus T-VEC di stimolare l'attacco immunitario dell'organismo contro un tumore.

Super virus

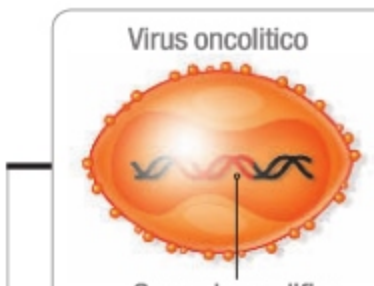
I ricercatori sfruttano tutte queste informazioni per implementare la viroterapia in diversi modi, alcuni dei quali sono attualmente in fase di trial clinico. Un approccio punta a ingegnerizzare i virus in modo che si dirigano verso certe molecole, i recettori, presenti in quantità molto più elevate sulle cellule cancerose rispetto alle cellule normali. Il legame con questi recettori aiuta i virus a entrare nelle cellule. Questa modifica genetica dovrebbe quindi contribuire a garantire che le cellule tumorali siano infettate da una quantità molto più grande di virus rispetto a quella che infetta le cellule sane.

Un secondo e più avanzato approccio punta ad aumentare la

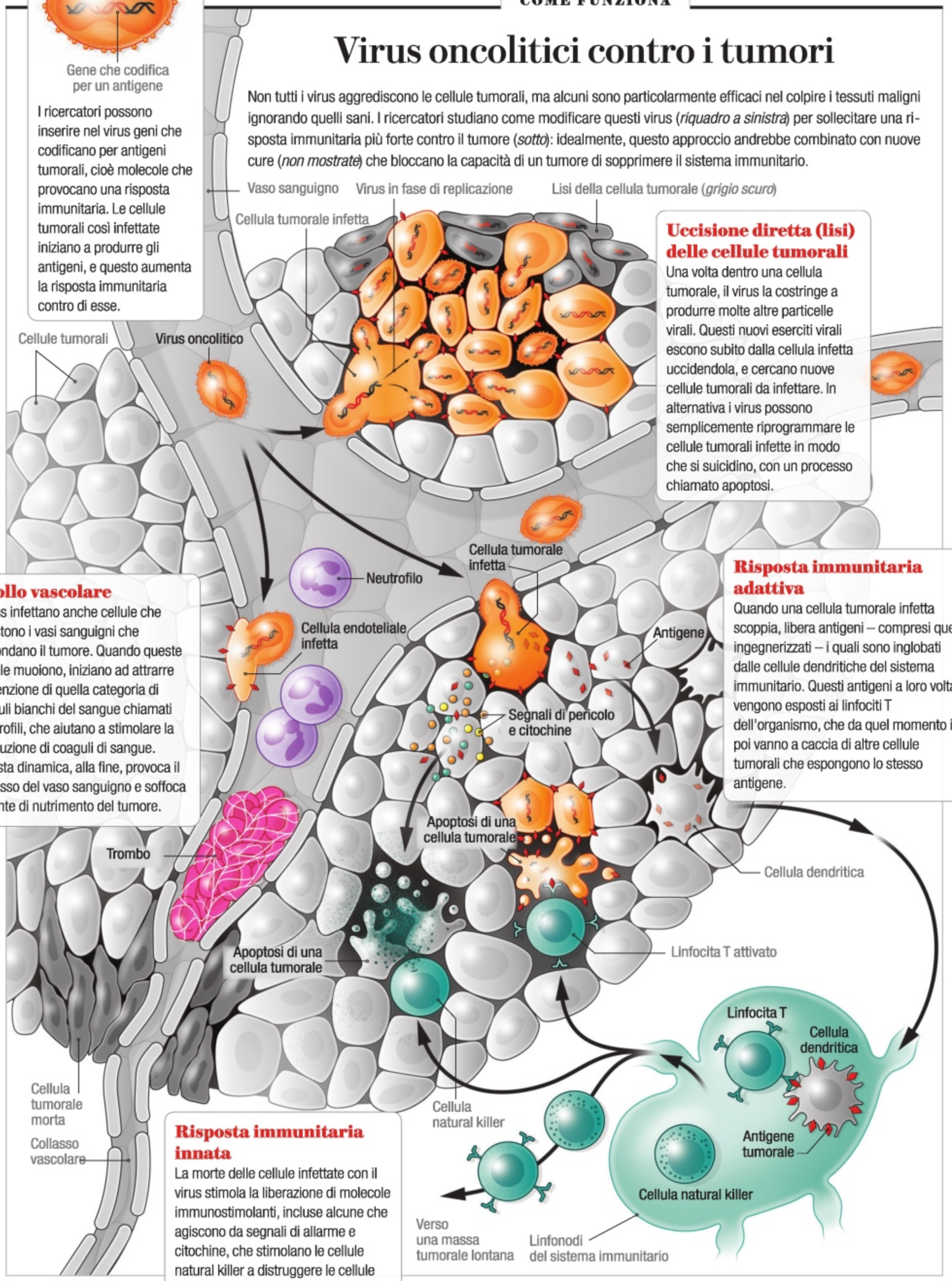
Science Source

Virus oncolitici contro i tumori

Non tutti i virus aggrediscono le cellule tumorali, ma alcuni sono particolarmente efficaci nel colpire i tessuti maligni ignorando quelli sani. I ricercatori studiano come modificare questi virus (*riquadro a sinistra*) per sollecitare una risposta immunitaria più forte contro il tumore (*sotto*): idealmente, questo approccio andrebbe combinato con nuove cure (*non mostrate*) che bloccano la capacità di un tumore di sopprimere il sistema immunitario.



I ricercatori possono inserire nel virus geni che codificano per antigeni tumorali, cioè molecole che provocano una risposta immunitaria. Le cellule tumorali così infettate iniziano a produrre gli antigeni, e questo aumenta la risposta immunitaria contro di esse.



Uccisione diretta (lisi) delle cellule tumorali

Una volta dentro una cellula tumorale, il virus la costringe a produrre molte altre particelle virali. Questi nuovi eserciti virali escono subito dalla cellula infetta uccidendola, e cercano nuove cellule tumorali da infettare. In alternativa i virus possono semplicemente riprogrammare le cellule tumorali infette in modo che si suicidino, con un processo chiamato apoptosi.

Crollo vascolare

I virus infettano anche cellule che rivestono i vasi sanguigni che circondano il tumore. Quando queste cellule muoiono, iniziano ad attrarre l'attenzione di quella categoria di globuli bianchi del sangue chiamati neutrofili, che aiutano a stimolare la produzione di coaguli di sangue. Questa dinamica, alla fine, provoca il collasso del vaso sanguigno e soffoca la fonte di nutrimento del tumore.

Risposta immunitaria adattiva

Quando una cellula tumorale infetta scoppia, libera antigeni – compresi quelli ingegnerizzati – i quali sono inglobati dalle cellule dendritiche del sistema immunitario. Questi antigeni a loro volta vengono esposti ai linfociti T dell'organismo, che da quel momento in poi vanno a caccia di altre cellule tumorali che espongono lo stesso antigene.

Risposta immunitaria innata

La morte delle cellule infettate con il virus stimola la liberazione di molecole immunostimolanti, incluse alcune che agiscono da segnali di allarme e citochine, che stimolano le cellule natural killer a distruggere le cellule tumorali vicine, infette o meno.

Fonte: *Targeted and Armed Oncolytic Poxviruses: A Novel Multi-Mechanistic Therapeutic Class for Cancer*, di David H. Kim e Steve H. Thorne, in «Nature Reviews Cancer», Vol. 9, gennaio 2009

tendenza dei virus a replicarsi meglio nelle cellule tumorali. Replicandosi in continuazione, le cellule maligne generano una grandissima quantità di materiale grezzo. I virus hanno bisogno anche di questo materiale, così spesso proliferano meglio in una cellula maligna che in altre cellule in cui riescono a entrare. Conoscendo questa loro inclinazione, gli scienziati hanno ingegnerizzato virus che mostrano una risposta aumentata rispetto ai materiali grezzi presenti in eccesso nelle cellule tumorali. Per esempio, i ricercatori hanno modificato un virus in modo che non possa dirigere la produzione di timidina, un componente del DNA. Privo di questa capacità, il virus è costretto a trovare una fonte esterna di timidina, e le cellule tumorali ne sono piene. Le cellule normali non forniscono abbastanza timidina al virus per la sua replicazione. Questo approccio è in fase di test clinico.

Insieme al gruppo di Glen Barber dell'Università di Miami, il gruppo di John Bell all'Ottawa Hospital Research Institute, in cui Stojdl è stato post-doc, ha identificato un altro motivo per cui i virus prosperano nelle cellule tumorali: via via che le cellule sperimentano cambiamenti genetici e di altra natura che le spingono a diventare maligne, perdono alcune difese contro gli attacchi microbici, per esempio la capacità di produrre una molecola antivirale chiamata interferone. Questi due gruppi e altri ancora hanno sfruttato questa debolezza per progettare virus, per esempio una versione ingegnerizzata del virus della stomatite vescicolare (VSV) che non cresce in nessuna cellula a eccezione di quelle tumorali con difetti nelle difese antivirali. Uno di questi VSV è in fase di valutazione in pazienti con tumore al fegato.

Fino a oggi la terapia oncolitica virale si è dimostrata sicura, gli effetti avversi registrati nei trial clinici sono stati pochissimi

Come molti nostri colleghi, riteniamo che i vantaggi più grandi arriveranno se riusciremo ad aumentare la capacità dei virus di stimolare risposte immunitarie contro i tumori. Nei trial con T-VEC, i ricercatori hanno scoperto che il virus non raggiungeva ogni cellula tumorale metastatica allontanatasi dal tumore primario. Ma anche così l'11 per cento dei pazienti mostrava una risposta completa, nessun segno di cancro in nessuna parte del corpo, presumibilmente perché il virus ingegnerizzato stimolava il sistema immunitario a cercare e distruggere le cellule che il virus non aveva raggiunto. A sostegno di questa ipotesi i ricercatori hanno trovato cellule T attivate nei siti di metastasi.

Usando un altro approccio sempre collegato al sistema immunitario, sviluppato in maniera pionieristica alla McMaster University in Ontario e alla Mayo Clinic di Rochester, in Minnesota, Stojdl ha inserito in virus terapeutici geni che codificano per molecole chiamate antigeni tumorali, che possono stimolare una risposta immunitaria quando sono presenti sulle cellule tumorali (per esempio antigeni associati al melanoma). Negli animali trattati, gli antigeni sono mostrati al sistema immunitario inducendolo a concentrarsi sulle cellule tumorali e a ucciderle; contemporaneamente il virus oncolitico uccide le cellule tumorali e cambia il microambiente del tumore in modo da risvegliare altre risposte immunitarie antitumorali. Sono in corso studi su pazienti.

L'idea di sollecitare il sistema immunitario è promettente, tuttavia decenni di ricerche in immunoterapia ci hanno dato una lezione importante: i tumori hanno sviluppato molti modi per sfuggire agli attacchi del sistema immunitario, quindi potrebbe essere necessario trattare i pazienti anche con altre sostanze che attenuino l'immunosoppressione nel tumore. Non è importante quanto stimoliamo il sistema immunitario, se il tumore è abile ad attenuare la risposta. Con alcuni colleghi dell'Università di Calgary, uno di noi (Mahoney) cerca di spegnere le cellule che sopprimono la risposta immunitaria e che possono nascondersi nei tumori proprio mentre i pazienti ricevono virus oncolitici. Con queste cellule imbrigliate, il sistema immunitario attivato dal virus dovrebbe sfuggire alla soppressione ed essere in grado di combattere i tumori con più efficacia. Avendo scelto come bersaglio le cellule che sopprimo la risposta immunitaria, sfruttiamo decenni di lavoro di altri ricercatori, i quali hanno prodotto molecole capaci di spegnere l'immunosoppressione. Questi farmaci, fra cui ci sono anche gli anticorpi monoclonali che si legano a molecole chiamate PD-1, sono fra le più promettenti terapie anticancro di nuova generazione. Quasi certamente, queste strategie combinate, come l'uso di virus insieme ad approcci più tradizionali, saranno il futuro della terapia virale oncolitica, grazie al loro potenziale di aiuto per pazienti che non rispondono a trattamenti virali individuali.

Quando però consideriamo terapie combinate dobbiamo fare attenzione. Finora la viroterapia si è dimostrata sicura nei trial clinici, ci sono stati pochissimi effetti avversi, in netto contrasto con la maggior parte degli altri farmaci anticancro sperimentali, però non possiamo essere sicuri di come i nostri virus si comporteranno quando verranno abbinati ad altre strategie immunoterapiche complementari, o quando aumenteremo il dosaggio.

«La viroterapia oncologica si è dimostrata molto sicura, finora», spiega il nostro collega Stephen Russell, professore di medicina alla Mayo Clinic. «Ma via via che lavoriamo per incrementarne la potenza e ampliarne l'utilità, in particolare per quanto riguarda la modulazione dell'immunità dell'ospite, corriamo il rischio di introdurre un elemento di tossicità e dobbiamo essere assolutamente consapevoli», mette in guardia.

Sfruttare il potere dei virus per curare il cancro è un lungo lavoro ancora in corso. Grazie a decenni di ricerca in genetica molecolare, biologia dei tumori, immunologia tumorale, immunoterapia virologia e terapia genica, oggi i ricercatori hanno a disposizione una cassetta di attrezzi e le conoscenze necessarie per sfruttare queste interazioni fra virus e organismo per una terapia contro il cancro. Gli scienziati hanno dimostrato che la terapia oncolitica virale funziona. Ora la domanda è: come farla funzionare per un numero più grande di pazienti, e infine come concretizzare la promessa del sogno di De Pace, ormai vecchio di un secolo, di usare i virus per scopi positivi salvando la vita delle persone malate di tumore. ■

PER APPROFONDIRE

Novel Oncolytic Viruses: Riding High on the Next Wave? Stanford M.M. e altri, in «Cytokine & Growth Factor Reviews», Vol. 21, nn. 2-3, pp. 177-183, aprile-giugno 2010.

Thunder and Lightning: Immunotherapy and Oncolytic Viruses Collide. Melcher A. e altri, in «Molecular Therapy», Vol. 19, n. 6, pp. 1008-1016, giugno 2011.

The Emerging Role of Viruses in the Treatment of Solid Tumours. Bourke M.G. e altri, in «Cancer Treatment Reviews», Vol. 37, n. 8, pp. 618-632, dicembre 2011.

Virotherapy. Cancer Targeted Pharmacology. Tedcastle A. e altri, in «Drug Discovery Today», Vol. 17, nn. 5-6, pp. 215-220, marzo 2012.

A un elenco di trial clinici che coinvolgono viroterapie oncolitiche: **http://clinicaltrials.gov/ct2/results?term=oncolytic+virus&Search=Search.**

Un interruttore per spegnere il cancro. Wolchok J.D., in «Le Scienze» n. 551, luglio 2014.

Adattarsi al clima che verrà

Come altri paesi europei, ora anche l'Italia ha una strategia di adattamento con cui affrontare gli effetti del cambiamento climatico che già si manifestano e che diventeranno sempre più accentuati

di Giovanni Sabato

Alessandro Bianchi/Reuters/Contrasto

Ci sono le notizie spauracchio: nel 2050 sarà impossibile coltivare il caffè su metà delle terre dove cresce oggi. Ci sono le immagini iconiche: versanti alpini un tempo coperti dai ghiacci e oggi ridotti a nuda roccia. Ci sono le piane constatazioni: la statunitense National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e altre agenzie hanno attestato che nel 2014 la Terra è stata più calda che mai dal 1880 (l'inizio delle rilevazioni accurate), superando, sempre secondo la NOAA, di 0,69 gradi la temperatura media annuale del XX secolo, al culmine del decennio più caldo registrato, e di una tendenza che dal 1998 include i dieci anni più caldi. Poi ci sono le analisi approfondite su quel che ci aspetta.

In guardia, a Roma. Il fiume Tevere che ha raggiunto un livello di guardia dopo imponenti piogge a novembre 2012.

IN BREVE

Gli effetti del cambiamento climatico iniziano a manifestarsi anche in Italia: per esempio il 2014 è stato l'anno più caldo dal 1800 e i mari che bagnano la penisola hanno registrato negli ultimi anni un aumento delle temperature medie superficiali.
Gli scenari futuri prevedono un inasprimento dei fenomeni attuali. Per esempio, sebbene per ora le precipitazioni siano variate di poco in quantità, in futuro la piovosità generale diminuirà drasticamente, con una maggiore frequenza di eventi estremi come piogge intense e, riguardo alle temperature, ondate di calore.
Affrontare il cambiamento climatico e i suoi effetti, non solo sul meteo ma anche su economia e società, è fondamentale. L'Italia, come altri paesi europei, si è dotata di una strategia nazionale di adattamento, che andrà però attuata con uno strumento operativo, un piano di adattamento.

Giovanni Sabato è giornalista scientifico *free lance*. Ha pubblicato fra l'altro *Come provarlo? La scienza indaga sui diritti umani* (Laterza, 2010).

Il quinto rapporto di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), pubblicato in varie sezioni fra il 2013 e il 2014, simula scenari sotto le più varie traiettorie di emissioni di gas serra, ma con un responso in sostanza univoco: eccetto che nell'improbabile ipotesi di un drastico crollo delle emissioni nei prossimi decenni, scenario indicato come RCP2.6, in tutti gli altri casi entro fine secolo la temperatura media della superficie terrestre aumenterà di almeno 1,5 gradi rispetto al periodo 1850-1900.

L'inasprimento degli eventi climatici estremi non potrà essere evitato ma solo mitigato, e rapporti scientifici, mezzi di comunicazione, libri e film hanno già raccontato le conseguenze attese, dall'aumento di ondate di calore e stress idrico ad alluvioni e disastri, scioglimento dei ghiacciai e innalzamento dei mari, tra 26 e 82 centimetri, con ricadute pesanti su risorse, salute, società ed economia, migrazioni e conflitti. Ma che cosa accadrà in Italia?

Per capire che cosa ci attende a livello locale e prepararci a minimizzare i danni occorrono studi basati su modelli regionali a scala fine, con una risoluzione che di norma è di 8-10 chilometri, ma può scendere anche a 2. Un grande compendio dei lavori al riguardo, dal titolo *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*, è stato pubblicato nel 2009 da Bononia University Press con il Centro euro-mediterraneo per il cambiamenti climatici (CMCC), a cura di Sergio Castellari, ricercatore del CMCC e dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia e *focal point* italiano dell'IPCC, e di Vincenzo Artale, responsabile dell'Unità tecnica modellistica energetica ambientale del Centro ricerche Casaccia dell'ENEA. «Gli studi sono poi proseguiti e si sono approfonditi molti aspetti, ma il succo resta quello», spiega Castellari. «Il concorso di variazioni climatiche attese e forte pressione antropica fa dell'Italia e del Mediterraneo una delle regioni più vulnerabili ai cambiamenti climatici».

Lo si vede in quello che già accade. L'Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima (ISAC) del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) ha attestato che anche in Italia il 2014 è stato l'anno più caldo registrato dal 1800, con un'anomalia, una deviazione dalla media 1971-2000 di 1,45 gradi, culmine di 23 anni consecutivi più caldi di quella che una volta era la norma. Crescono le massime, crescono le minime e si intensificano frequenza e durata delle ondate di calore estive. Inoltre, sia negli scenari per l'area euromediterranea sia in quelli più fini per l'Italia la tendenza è destinata a inasprirsi, con medie estive che a fine secolo, nei casi peggiori, potrebbero crescere anche di 4-5 gradi rispetto a fine Novecento.

Per ora le precipitazioni sono cambiate poco in quantità, ma sono più concentrate, così aumentano sia le giornate secche sia le piogge lampo con forti rovesci. In futuro le irregolarità si esaspe-

UNA LACUNA NELLE PREVISIONI

Formazione meteo e servizio meteorologico nazionale

Istituire un servizio meteo-climatico nazionale di livello europeo è una priorità della strategia di adattamento. Ma con quali risorse e organizzazione? «In Italia la formazione è inadeguata. Non c'è una laurea in meteorologia e le cattedre di fisica dell'atmosfera sono ridotte a una pattuglia sparuta. In alcuni atenei non c'è neanche un esame», denuncia Guido Visconti, docente, appena pensionato, di fisica dell'atmosfera e oceanografia e direttore del Centro di eccellenza per la previsione di eventi meteorologici severi (CETEMPS) all'Università dell'Aquila, e accademico dei Lincei.

«All'Aquila abbiamo un gruppo abbastanza numeroso e pochi studenti, abbiamo cercato di istituire una laurea interateneo con la "Sapienza", che ha pochi docenti e molti studenti. Ma le solite resistenze universitarie hanno creato ostacoli insormontabili e alla fine abbiamo rinunciato. Probabilmente all'Aquila istituiremo un master, ma per cambiare il panorama servirebbe un programma nazionale promosso dal ministero, cui abbiamo chiesto più volte di avviare un programma straordinario per istituire un minimo di cattedre o un corso di laurea in meteo. Ma abbiamo trovato solo indifferenza», spiega Visconti.

Così, prosegue Visconti, il personale che nelle regioni elabora a risoluzione più dettagliata le previsioni nazionali dell'Aeronautica Militare, o quelle dell'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, non sempre ha una preparazione specifica. E peggio ancora chi va in televisione o apre siti meteo. «All'estero tutto ciò è impensabile. Nel Regno Unito hanno una formazione a ogni livello, dalle lauree brevi ai dottorati. Negli Stati Uniti quasi ogni Stato ha un dipartimento d'avanguardia specializzato per le esigenze locali: in Oklahoma nei tornado, in Florida negli uragani... Persino per dare le previsioni in televisione serve un diploma dell'American Meteorological Society».

«Anche paesi meno ricchi, come la Serbia, hanno spesso una formazione meteorologica migliore», conferma Carlo Cacciamani, direttore del Servizio idro-meteo-clima dell'Agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'Emilia Romagna. «In Italia la professione del meteorologo non esiste, chiunque può dirsi meteorologo. La nostra Regione oggi è l'unica che, ai sensi delle nuove norme nazionali sulla certificazione delle competenze (DL 13/2013), ha definito la qualifica del meteorologo operativo, stabilendo che cosa deve sapere e deve saper fare. Ora stiamo definendo nei dettagli l'iter per conseguire la qualifica, istituendo un sistema di valutazione delle competenze».

Risorse umane a parte, il sistema meteorologico nazionale sta andando incontro a una riorganizzazione che fa discutere. «L'Italia è l'unico paese, oltre alla Grecia, ad avere solo un servizio meteo militare e non anche uno civile», osserva Visconti. «Se vuoi fare il meteorologo devi essere un militare, cosa insensata. Poi non c'è coordinamento nella ricerca, o nei modelli usati dalle diverse Regioni. Ci sono centri di ricerca specializzati su un tema, come il CMCC sui cambiamenti climatici, o il nostro CETEMPS, ma non sostituiscono un centro nazionale che integri ricerche a tutto campo su temi che spaziano per esempio dall'influsso dell'orografia sulle precipitazioni ai modelli di scorrimento al suolo dell'acqua per capire l'impatto della pioggia».

«Il servizio dell'Aeronautica Militare va benissimo per le forze armate, ma non basta più per tutte le esigenze civili, perché oggi alla meteorologia si chiede molto di più», osserva Cacciamani. Negli anni, in molte Regioni si sono quindi affiancate al servizio nazionale strutture per elaborare in dettaglio le previsioni su scala locale, e la Legge 100/2012 di riordino della Protezione Civile prevede di mettere a sistema il tutto in una nuova struttura civile: un servizio meteo nazionale distribuito, gestito dallo Stato e dalle Regioni, che coordini i vari centri statali e regionali di osservazione, previsione e ricerca esistenti.

Una soluzione che non convince Visconti: «Mancherà comunque un grande centro di ricerca. Una

reranno, anche nella variabilità fra un anno e l'altro. La piovosità complessiva diminuirà molto, d'estate in modo forte e generalizzato, con un aumento delle ondate di siccità, mentre d'inverno al calo nel sud si contrapporrà un aumento al nord, dove cresceranno gli eventi estremi per le piogge intense. Su un territorio variegato come quello italiano, in realtà, le situazioni saranno molto diverse da zona a zona, e si stanno sviluppando nuovi modelli per avere simulazioni fini.

I ruoli dei mari

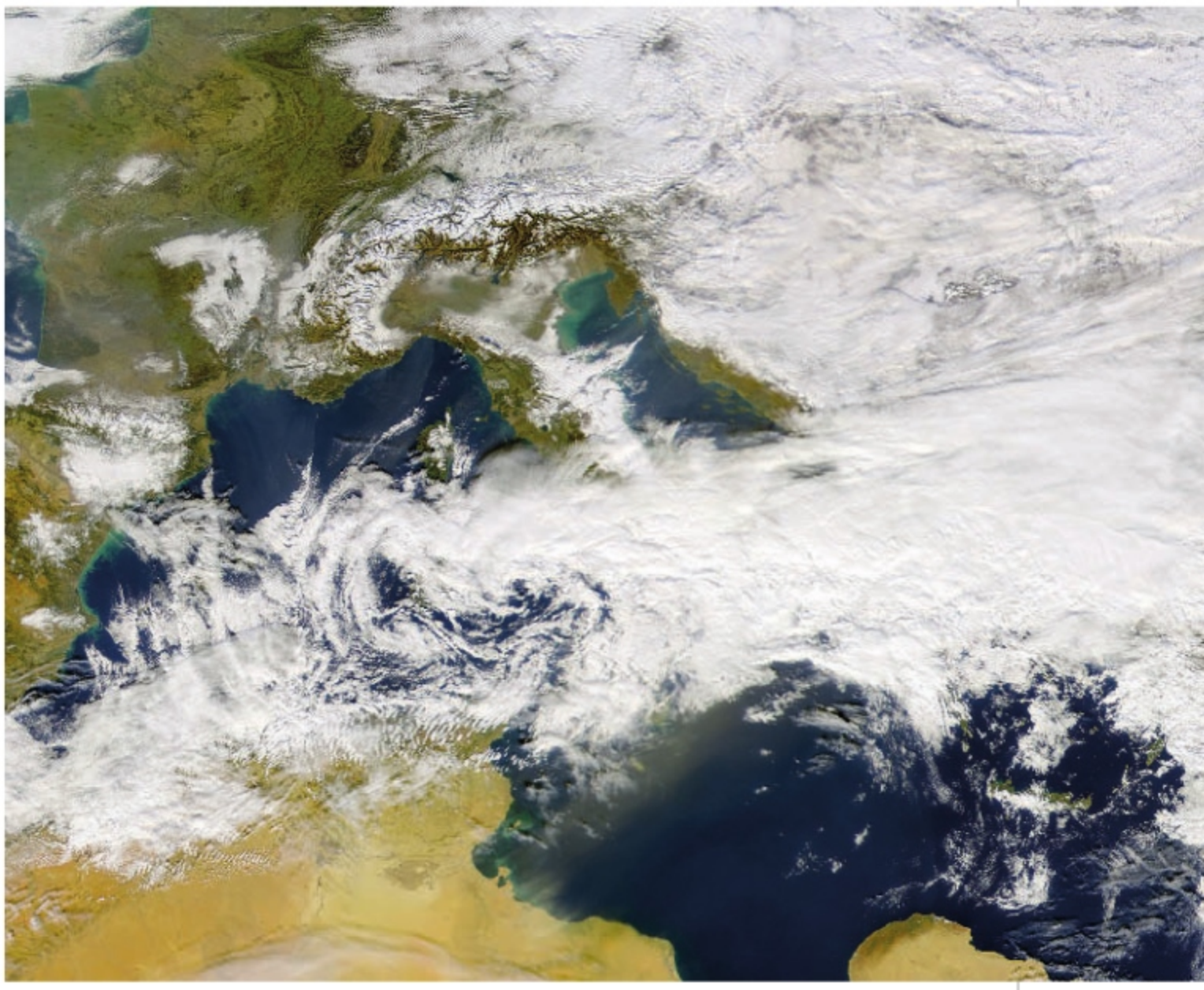
I mari partecipano con complesse interrelazioni ai fenomeni climatici, risentendone e influenzandoli a loro volta. Anche il Mediterraneo si sta riscaldando, e le superfici di Adriatico e Tirreno hanno già toccato punte anche di 3-4 gradi oltre le medie degli ultimi decenni, con aumenti più contenuti in profondità.

«L'espansione termica e l'afflusso di acque dolci dai ghiacciai disciolti fanno salire i livelli marini, mentre l'aumento di salinità per l'evaporazione accresce la densità dell'acqua contraendone il volume. L'effetto netto è molto discusso: per me nel Mediterraneo il sale ha un sensibile ruolo frenante, ma altri non concordano e stiamo lavorando alle simulazioni per chiarirlo», afferma Artale. Lo Stretto di Gibilterra limita inoltre la propagazione delle anomalie dall'Atlantico, e le serie storiche in aree come Trieste o Genova indicano che negli ultimi 150 anni il livello è salito un po' meno dei 20 centimetri registrati a livello globale.

Oltre che dall'innalzamento delle acque, le coste sono minacciate di inondazioni ed erosione dagli eventi estremi di origine marina. «Qui il quadro appare peggiore di quanto pensassimo qualche anno fa. Da un lato abbiamo quelli che per me e molti colleghi sono eventi nuovi: i cosiddetti Medicane, uragani mediterranei come quelli di fine 2013 a sud della Sardegna, alimentati direttamente da calore e umidità del mare con meccanismi analoghi ai cicloni tropicali, inusuali alle nostre latitudini», spiega Artale. «Dall'altro abbiamo fenomeni abituali ma che si stanno intensificando, come la ciclogenesi ligure responsabile dei disastri di questo autunno e del 2011. Quando perturbazioni atlantiche fredde e secche entrano nel Mediterraneo e si scontrano con le Alpi, si crea una depressione che, incontrando il mare più caldo, genera i grossi processi convettivi che creano i cicloni. Ma se qualche decennio fa erano eventi sporadici, negli ultimi 7-8 anni è successo ogni anno e a volte con molta più forza perché un tempo, dopo l'evento, il mare si raffreddava e il processo si fermava, ma ora che le profondità sono molto più calde la superficie torna subito a scaldarsi e il ciclone si ripete a più riprese».

Anche in questo caso per capire i nuovi fenomeni occorreranno nuove simulazioni. «Quelle in uso avevano previsto l'evento di Genova del 2011, ma non la sua entità, perché oltre ad avere limiti di risoluzione e di conoscenze fisiche considerano solo la superficie marina e non il calore che risale dalle profondità. Ora che anche questo è rilevante, serviranno modelli che includano i feno-

perturbazione attraversa l'Italia in un giorno, per seguirla occorrerà un coordinamento pazzesco fra enti regionali eterogenei per competenze e organizzazione, mentre lo farebbe molto meglio un unico istituto centralizzato con sedi dislocate».
Cacciamani non condivide lo scetticismo. «C'è già un sistema federato Stato-Regioni che funziona benissimo: quello della Protezione Civile, dove ogni giorno c'è uno scambio continuo e in tempo reale di dati fra Regioni e centro, inclusi i dati meteo su cui si fondano i sistemi d'allerta. Certo, un'unica grande struttura nazionale come Météo-France sarebbe ottima. Ma dobbiamo fare i conti con quello che abbiamo: in Francia hanno oltre 3000 dipendenti, noi se sommiamo Aeronautica Militare e centri regionali superiamo di poco i 1000. Abbiamo forse i fondi per colmare la differenza? E le competenze, visto lo stato in cui è la formazione? E poi abbiamo un sistema molto complesso: una rete radar nazionale gestita di nuovo fra Stato e Regioni, una rete di monitoraggio idropluviometrica delle Regioni i cui dati sono usati anche a livello centrale, e via dicendo. Accentrare tutto semplificherebbe le cose, forse, ma nessuno ci è riuscito in tutti questi anni. Il servizio distribuito deve mettere a sistema quel che c'è, così che al tavolo nazionale di coordinamento, legittimato con precise norme dello Stato, si affrontino tutte le difficoltà, dalla disomogenea disponibilità dei servizi, ora scarsi al sud, alle differenze nei modelli impiegati e via dicendo».



Cortesia SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center, e ORBIMAGE

Dallo spazio. Il centro e il sud dell'Italia coperti da una perturbazione in un'immagine dell'area del Mediterraneo scattata dal satellite Orbview-2 di Orbital Imaging Corporation.

La questione dei beni culturali

A rischio pioggia. Ingresso sbarrato a Pompei, uno dei più importanti siti archeologici mondiali, che negli ultimi anni ha sperimentato diversi crolli dovuti a piogge intense e manutenzione insufficiente.

C'è un campo in cui la strategia italiana di adattamento spicca: è l'unica ad affrontare a fondo la salvaguardia dei beni culturali, nonostante sia tutt'altro che facile. «È un patrimonio molto vario per materiali, tipi di strutture e contesti, dal legno nel museo alla statua di metallo nel centro storico o nell'area archeologica. E sebbene gli scienziati in Italia si occupino di conservazione da decenni, e ricevano attenzione da chi gestisce il patrimonio culturale, la ricerca in chiave di adattamento ai cambiamenti climatici è solo agli inizi», spiega Cristina Sabbioni, direttore dell'ISAC-CNR e coordinatrice della sezione sui beni culturali della strategia.

«Ci sono stati due progetti europei, di cui uno, Noah's Ark, coordinato da noi, che ha prodotto un atlante di vulnerabilità del patrimonio europeo. Ma restano molte lacune. I modelli climatici non sono abbastanza dettagliati, anche un modello fine non basta a rispondere a quello che tutti ci chiedono: "Che cosa succederà al Colosseo?". Poi non si conoscono le funzioni di danno, cioè gli algoritmi che quantificano il degrado di materiali e strutture in funzione dei parametri meteo-climatici e di qualità dell'aria».

Non preoccupano tanto le temperature quanto il ciclo dell'acqua. Gli episodi di gelo-disgelo diminuiranno, ma le buone notizie si fermano qui. I danni delle alluvioni saranno gravi su un patrimonio fragile e non rinnovabile. La crescita dell'umidità relativa in Europa danneggerà soprattutto materiali organici come legni e carte, e modificherà il biodegrado a opera dei microrganismi. Inoltre, dove pioverà meno diminuirà il dilavamento delle particelle carboniose da combustione che anneriscono le superfici di statue ed edifici nelle aree urbane. La recessione superficiale di marmi e calcari, dovuta alla dissoluzione del carbonato di calcio, cambierà prevalentemente per effetto delle precipitazioni e dell'aumento dell'anidride carbonica. Al sud il fenomeno decrescerà, mentre si prevede in crescita nelle aree più interessate dalle precipitazioni, in particolare le catene montuose, con un aumento del 30 per cento rispetto al periodo di riferimento 1961-1999.

Aumenteranno anche i cicli di cristallizzazione dei sali, a causa sia delle efflorescenze visibili sulle superfici sia di stress meccanici nei pori dei materiali lapidei, dalle arenarie di Bologna ai calcari del sud, generando disgregazione specie per opere in cui la decorazione di superficie contiene tutto il valore aggiunto, come quelle del barocco leccese.

«In un paese denso di opere sulle coste il killer numero uno è il cloruro di sodio. Il numero di cicli annui di umidità relativa (UR) intorno al 75 per cento, che è il valore in cui si passa dalla dissoluzione (UR>75 per cento) alla cristallizzazione (UR <75 per cento) del sale, è stato assunto come indicatore quantitativo degli eventi di cristallizzazione, pronosticati in aumento in tutta Europa, Italia inclusa», spiega Sabbioni.

Le strategie di adattamento partono dal diffondere le conoscenze in materia, ancora poco note fra chi è preposto alla gestione del patrimonio vista la loro novità. Poi andranno monitorate le variabili climatiche di rilievo. «ISAC-CNR sta potenziando osservatori permanenti che misurano le variabili meteo e i composti climalteranti come ozono, anidride carboniosa, metano e *black carbon*, in aree rappresentative del Mediterraneo: Lecce, Lamezia Terme e Capo Granitola. Stiamo inoltre sperimentando un sistema per misure ambientali esterne e interne al Museo di Capodimonte».

Quanto agli interventi, è essenziale una manutenzione ordinaria costante, non grandi restauri una volta al secolo. Andranno inoltre valutate le priorità in relazione allo stato di conservazione, al rischio e al valore ambientale, economico e sociale dei beni: «È doloroso, ma con risorse limitate bisogna scegliere dove intervenire prima, coinvolgendo le comunità locali». Andranno riviste direttive e piani di gestione, promossi nuovi strumenti finanziari pubblico-privati, assicurativi e fiscali, e la ricerca su rischi e nuove tecniche di manutenzione. «Iniziando, anche, dal formare maestranze per salvaguardare le competenze tradizionali su tecniche non più in uso che rischiamo di perdere. Un paradosso per il paese con la comunità scientifica più preparata al mondo nello studio del degrado del patrimonio, in interni ed esterni, per ogni tipo di materiale, struttura e contesto ambientale».

Ciro De Luca/Reuters/Contrasto

meni nei primi 100 metri di profondità. Come occorre considerare le interazioni con la topografia e la copertura del territorio, che rendono le precipitazioni molto diverse da una zona all'altra della stessa città», osserva Artale.

Le altre conseguenze

Le alterazioni in atto e previste avranno ripercussioni diffuse. L'estremizzazione dei regimi delle precipitazioni potrà da un lato aumentare il dissesto idrogeologico con alluvioni, frane, flussi di fango e detriti, specie nelle zone già a rischio come la valle padana e le aree alpine e appenniniche; dall'altro, insieme all'aumentata evaporazione, inasprirà lo stress idrico che già si avverte soprattutto d'estate al sud e nelle piccole isole. L'inaridimento minaccerà la qualità dei suoli favorendo erosione e desertificazione, in gran parte al sud ma anche in aree del centro-nord, e gli incendi boschivi, già in aumento sulle Alpi e sulle grandi isole. E le foto impietose dei ghiacciai alpini in prepotente ritiro non sono immagini a effetto scelte per impressionare ma rappresentazioni fedeli di quanto accade. Secondo il Catasto dei ghiacciai italiani, presentato a maggio 2014 dal gruppo di Claudio Smiraglia, dell'Università di Milano, in collaborazione con Ev-K2-CNR e il Comitato glaciologico italiano, dal 1984 le superfici ghiacciate sui nostri monti sono calate del 40 per cento, da 609 a 368 chilometri quadrati.

Più complesso è l'impatto sui sistemi viventi. Biodiversità ed ecosistemi sembrano minacciati, soprattutto sui monti e nelle acque. Sulle Alpi, dove il riscaldamento è più rapido, gli ecosistemi già si spostano verso l'alto inseguendo le temperature più miti, mentre alle alte quote appenniniche si vedono i primi adattamenti all'aridità: la composizione delle specie è già cambiata del 10-20 per cento a vantaggio di quelle meglio adattate agli stress. Ma non è detto che gli spazi dove migrare o le risorse genetiche per adattarsi siano sempre sufficienti. In molti casi si prospetta l'estinzione, complice anche la rottura di equilibri fra specie interagenti come prede e predatori, piante e impollinatori o parassiti e ospiti, che non sempre hanno le stesse esigenze e possibilità di adattamento.

Anche la nostra specie non è esente da rischi, soprattutto nei gruppi più vulnerabili come anziani e malati con problemi cardiorespiratori minacciati dalle ondate di calore, ma anche da nuove o più diffuse infezioni e allergie, e naturalmente da inondazioni e altri eventi estremi.

Quanto all'agricoltura, potranno cambiare le aree più adatte alle varie colture, con espansione a nord di ulivo, agrumi, vite e grano duro, ma mais in difficoltà al sud per l'aridità. Più in generale, la produttività di varie colture sarà minacciata da caldo e siccità, ma forse favorita dall'aumento di anidride carbonica e fissazione dell'azoto. Il quadro è complesso, con effetti da valutare caso per caso, aiutandosi magari con analisi più sofisticate di quelle usuali, come lo studio sul futuro dell'olivicoltura mediterranea pubblicato nel 2014 sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Luigi Ponti, del Centro ricerche Casaccia dell'ENEA, con Paolo Michele Ruti e Alessandro Dell'Aquila, sempre dell'ENEA, e Andrew Gutierrez, dell'Università della California a Berkeley.

«Di solito, per prevedere che cosa accadrà a una specie, si valuta in quali zone soffrirà e dove invece potrà prosperare in virtù delle sue esigenze e dei cambiamenti climatici locali. Ma così si trascurano gli intricati processi biologici alla base del suo comportamento, incluse le interazioni con le altre specie», spiega Ponti. Quindi con Gutierrez ha elaborato un modello che, oltre a simulare le variazioni climatiche su scala molto fine nello scenario di un aumento medio di 1,8 gradi, ne considera gli effetti sui maggiori processi biologici in gioco: la fioritura dell'ulivo, che il caldo anticiperà da 3 a 18 giorni nelle varie zone, prolungando la crescita del frutto e aumentando le rese in quasi tutto il bacino; la perdita idrica, che invece riduce le rese nelle aree troppo calde; e le infestazioni del maggiore parassita, la mosca olearia. La mosca soffre il caldo più dell'ulivo, quindi nelle zone oggi più calde, specie sulle coste, le infestazioni caleranno, mentre in quelle più fresche, interne ed elevate, gli attacchi cresceranno.

L'effetto netto per gli agricoltori mediterranei, nel periodo 2030-2060, sarà un aumento delle rese del 4 per cento e dei redditi di quasi il 10 per cento per ettaro, ma con forti disparità. Sarà penalizzato soprattutto il Medio Oriente. «Soffrirà però anche il 20 per cento degli appezzamenti italiani, soprattutto in aree marginali dove già oggi le aziende sono in difficoltà, con il rischio di un ulteriore abbandono delle campagne e degrado ambientale e sociale», avverte Ponti. Ulivi a parte, lo studio si propone come esempio di un metodo innovativo per previsioni più attendibili.

Non affrontare il cambiamento climatico costerà all'Unione Europea 100 miliardi di euro nel 2020 e 250 nel 2050

Previsioni, tra l'altro, non smentite dal crollo della produzione di olio avvenuto nell'ultima stagione. «È stato un succedersi di situazioni eccezionali: un autunno-inverno molto caldo che non ha ucciso le larve, anticipando così le infestazioni, protrattesi nell'estate mite e nell'autunno ancora caldo. Anche le piante hanno risentito delle anomalie, prima nella dormienza invernale, poi nello sviluppo dei frutti», spiega Marco Bindi dell'Università di Firenze, che ha coordinato la sezione sull'agricoltura della strategia di adattamento italiana. Ma una stagione non fa testo, concordano Bindi e Ponti: le previsioni vanno intese sul lungo termine.

Poche e difficili, infine, sono le valutazioni dell'impatto economico complessivo. I guai maggiori dovrebbero giungere dalla minore produzione idroelettrica, dai cali dell'attrattiva turistica sia invernale sia estiva e della produttività agricola e ittica, e dai danni a insediamenti e infrastrutture. Stime molto conservative parlano di danni che, anche con aumenti di temperatura intorno a un solo grado e non considerando gli eventi più estremi o gli effetti sulla salute, toccano lo 0,15-0,20 per cento del prodotto interno lordo nel 2050 e sei volte di più nel 2100, ma valutazioni con altri parametri climatici ed economici pronosticano guai peggiori.

La strategia per adattarsi

Quali che siano i numeri esatti, restare a guardare non sembra la scelta ideale. La Commissione Europea ha calcolato che l'inazione costerebbe all'Unione Europea almeno 100 miliardi di euro nel 2020 e 250 miliardi nel 2050. Così da qualche anno l'Europa si è messa in moto. Nel 2011 la Commissione ha reso pubblica la European Climate Adaptation Platform (Climate-ADAPT), la piattaforma sull'adattamento ai cambiamenti climatici con informazioni tecniche e scientifiche su impatti, vulnerabilità, strategie per ridurre i danni e casi studio di azioni già intraprese, e nel 2013 ha adottato la strategia di adattamento ai cambiamenti climatici, basata sul principio che per essere efficaci le politiche di adattamento debbano essere integrate fra i settori di attività e fra i paesi.

La Commissione ha inoltre adottato un regolamento che pre-

scrive ai paesi membri di monitorare e informarla a cadenze regolari sulle iniziative di adattamento, e nel 2017 valuterà se gli Stati stanno facendo con diligenza i compiti a casa o se occorra pensare a una direttiva giuridicamente vincolante in materia.

Dopo altri 21 paesi europei, anche l'Italia si è dotata di una strategia nazionale di adattamento. Non partivamo da zero: ministeri e altre istituzioni avevano preso iniziative in singoli settori, dall'agricoltura alla biodiversità, all'ambiente marino e alla salute. Ma azioni isolate non bastano: come chiarisce la strategia europea, per una risposta efficace serve un approccio coordinato tra i diversi settori e tra i vari livelli di governo, da quello continentale a quello cittadino. Così nel 2012 il Ministero dell'ambiente ha avviato il percorso per una Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici, affidandone il coordinamento al CMCC, sotto la guida di Castellari.

«Ci siamo ispirati al resto d'Europa», spiega Castellari. «Quasi tutte le strategie nazionali si basano su una solida valutazione scientifica delle vulnerabilità, che abbiamo realizzato con un centinaio di esperti, e su un forte processo partecipativo. Da un lato abbiamo coinvolto un tavolo istituzionale con ministeri, autonomie locali, Protezione Civile e altre istituzioni, dall'altro abbiamo consultato i portatori d'interesse nella società con diversi strumenti: da un questionario preliminare on line per saggiare le concezioni di rischio e adattamento, alla revisione sempre on line del documento finale, che ha portato molti contributi migliorativi; infine due giorni di consultazioni pubbliche fra gli autori principali di ogni settore e decine di organizzazioni e istituzioni».

Il risultato sono i tre rapporti alla base della strategia: quello tecnico-scientifico, che analizza le vulnerabilità del territorio e delle attività che vi si svolgono, quello giuridico che la inquadra nel contesto comunitario, e un documento che fornisce i principi strategici e le proposte d'azione. L'elaborazione dei rapporti si è conclusa a luglio 2014, e sulla loro base il Ministero dell'ambiente ha poi completato il documento finale della strategia, che il 30 ottobre ha ottenuto il parere positivo della Conferenza Stato-Regioni e Unificata e presto dovrebbe essere disponibile su Internet.

La strategia è essenzialmente un quadro di riferimento, che propone un ricco elenco di azioni possibili per ridurre con efficacia danni e rischi ascrivibili ai mutamenti climatici nei vari settori e in teoria per sfruttarne gli eventuali benefici. Illustra inoltre i principi con cui perseguirle, analizzando esigenze, obiettivi e lacune conoscitive da colmare, individuando i possibili attori da coinvolgere, le pratiche già realizzate, i modi di procedere.

Le azioni proposte sono suddivise per settori, dalle risorse idriche al dissesto idrogeologico, dalle foreste all'energia, dall'agricoltura alla salute e via dicendo, più una serie di proposte trasversali a più settori. Sono distinte inoltre per tempistica, da attuare subito o dopo il 2020, e per tipo: le misure leggere o non strutturali, cioè di tipo gestionale, giuridico e politico; quelle verdi o ecosistemiche, basate sugli ecosistemi; e quelle grigie o infrastrutturali, di tipo tecnologico e ingegneristico. Per fare solo un esempio, nella salvaguardia delle risorse idriche, la lunga lista di azioni non strutturali include nell'immediato una riconsiderazione dei fabbisogni, delle norme e dei piani di gestione, o delle concessioni storiche, e sul lungo termine nuove norme sul risparmio idrico degli edifici o per il recupero dell'acqua piovana; fra le azioni verdi ci sono la riqualificazione dei corsi d'acqua o la creazione di zone tampone fra questi e le aree coltivate; e fra le grigie gli interventi sulle reti per ridurre le perdite e, in prospettiva, impianti di raffreddamento industriali più efficienti e sistemi di dissalazione.

Ingorgo da meteo. Uno dei disastrosi risultati dell'alluvione che ha colpito Genova a novembre 2011, dovuto principalmente a un consumo del suolo eccessivo e pianificato in modo inadeguato.

Dovrà ora seguire uno strumento operativo, un Piano nazionale di adattamento, che trasformi il panorama di opzioni delineate in scelte concrete, selezionando le azioni da realizzare, coinvolgendo gli attori pertinenti, stanziando le risorse e valutando i risultati. In qualche ambito le fasi operative sono già partite: l'attuale Governo per esempio ha creato la Struttura di missione contro il dissesto idrogeologico e per lo sviluppo delle infrastrutture idriche, per usare le tante risorse stanziate da tempo ma mai spese per rimediare alle emergenze idrogeologiche più pressanti e realizzare vari sistemi di fogne e depuratori nel sud del paese.

In altri settori tutto o quasi è ancora da fare. «Entro la fine del 2015 spero di vedere un Piano nazionale, o un coordinamento nazionale di Piani regionali e locali sostenuto da una Struttura di missione per l'adattamento da realizzare presso la Presidenza del consiglio, per iniziare a mettere in atto le iniziative con fondi italiani ed europei», dichiara Castellari.

Anche se secondo Castellari molte istituzioni regionali e locali sono ancora poco coinvolte, c'è qualche eccezione, come la Lombardia, che a dicembre 2014 ha concluso la propria Strategia regionale, o i Comuni di Ancona e Bologna, che sono in fase avanzata nell'attuare i loro piani locali, anche con il concorso di azioni europee volte a coinvolgere le città come Mayors Adapt.

La ricerca non è mai abbastanza

I tanti principi generali ed esigenze intersettoriali che secondo la strategia devono ispirare le azioni spaziano dal coinvolgimento di portatori di interessi e cittadini, a come gestire le scelte in condizioni di incertezza e comunicarle, o al cercare sinergie fra

Alessandro Garofalo/Reuters/Contrasto

adattamento, mitigazione e sviluppo. «Il rischio climatico può diventare un'occasione di sviluppo sostenibile, perché l'adattamento comporta uno sforzo di innovazione e sviluppo in molti settori economici cruciali», afferma Castellari.

Non a caso, come si è visto, fra i temi più ricorrenti c'è il bisogno di ricerca. «In Italia bisognerebbe sviluppare una ricerca di base finalizzata all'adattamento e alla mitigazione: una modellistica a livello regionale e locale, soprattutto urbano, per avere buone mappe del rischio climatico su cui costruire misure di adattamento con solide basi scientifiche», spiega Castellari.

La necessità si avverte sia per gli scenari climatici su cui pianificare le strategie di lungo periodo sia per le più immediate previsioni dei fenomeni meteorologici e dei loro impatti necessarie alle decisioni quotidiane. «Come dicevamo, nel 2011 il disastro di Genova non era prevedibile in quell'entità e con quella variabilità spaziale così piccola, dell'ordine di 1-2 chilometri, perché col mare così caldo i modelli classici sull'evoluzione delle perturbazioni non funzionavano. Ma se da allora si fosse fatta più ricerca, forse quest'autunno ci saremmo trovati più pronti», osserva Artale.

Lo stesso vale in tanti altri ambiti, come quello idrogeologico, sottolinea la strategia. Concetti consolidati sulla cui base si valutano i rischi e si progettano le opere, come il «tempo di ritorno» delle inondazioni, oggi non valgono più, e la letteratura scientifica propone concetti alternativi. Ma l'Italia – pur essendo il paese europeo con più vittime da eventi idrogeologici, con oltre 7000 fra morti, feriti e dispersi negli ultimi cinquant'anni – non ha un programma nazionale di ricerca sul rischio idrogeologico, né un coordinamento delle iniziative in materia, e neanche il Programma nazionale di ricerca 2014-2020 apre spazi in questo senso. «È necessario un cambio di paradigma», afferma la Strategia.

La ricerca sarebbe quanto mai necessaria anche per capire come risistemare il territorio per renderlo meno vulnerabile. A novembre 2014, dopo l'ultimo alluvione ligure, Fabio Luino, geologo all'Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica del CNR, aveva dichiarato ai giornali che l'unica vera soluzione sarebbe abbattere tutte le costruzioni che hanno occupato gli spazi di pertinenza fluviale, dove il fiume si espande quando piove molto.

«Ma se vogliamo abbattere tutto quello che non si sarebbe dovuto costruire dovremmo buttare giù anche interi quartieri di Roma, e di chissà quante altre città», ride Artale. «Nell'alluvione di gennaio 2014 a Roma nord ha piovuto meno che in alcuni disastri del passato, che però erano stati meno dannosi perché il suolo era meno edificato. Ma non posso buttare giù tutto, servono soluzioni realistiche. La grande sfida è capire i nuovi processi in atto, individuare quali fattori che oggi ignoriamo rendono o meno un evento così distruttivo, e valutarne l'impatto a livello di città e di quartieri, prevedere i disastri con qualche ora di anticipo ed evitare almeno i morti. Poi, lavorando da fisico con i geologi e gli altri specialisti, valutare gli effetti al suolo delle precipitazioni e individuare i punti più critici, per intervenire con intelligenza: se per esempio scopro che nel quartiere romano di Monte Mario devo chiudere la tale strada e piantarci alberi, o mettere una barriera di cemento in un punto, magari basta cambiare la viabilità e la cosa è fattibile. Servono studi specifici localizzati, sviluppati sulla base delle esigenze concrete in un continuo confronto fra scienziati e amministratori. Ma questo discorso non l'ho mai sentito fare». ■

PER APPROFONDIRE

Climate-ADAPT, la piattaforma europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici: **http://climate-adapt.eea.europa.eu.**

Mayors ADAPT, l'iniziativa europea dedicata alle città: **http://mayors-adapt.eu.**

Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici: **http://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0.**

Un punto debole nella fortezza dei batteri

I biologi evoluzionisti provano ad attaccare i batteri in un nuovo modo: limitandone la vita sociale

di Carl Zimmer

All'Università di Zurigo, Rolf Kümmerli cerca nuovi farmaci per bloccare infezioni mortali. Passa i suoi giorni in un laboratorio pieno di piastre e flaconi di batteri: esattamente il posto dove ti aspetteresti che facesse questo tipo di lavoro. Ma Kümmerli ci è arrivato seguendo un percorso improbabile. Dopo la laurea ha passato anni a camminare nelle Alpi svizzere per studiare la vita sociale delle formiche. Solo dopo aver finito il dottorato in biologia evoluzionistica si è interessato ai microbi.

Fotografia di Zachary Zavislak

IN BREVE

I ricercatori del campo emergente della sociomicrobiologia ritengono di aver scoperto un nuovo approccio per combattere la resistenza agli antibiotici dei batteri patogeni.
I sociomicrobiologi vogliono interrompere i processi che permettono ai batteri di comunicare e cooperare tra loro.
La teoria dell'evoluzione prevede che dovrebbe essere difficile sviluppare una resistenza contro questi farmaci «antisociali». Ma non tutti gli addetti ai lavori sono convinti che questa nuova strategia per lo sviluppo di antibiotici funzionerà.

Carl Zimmer cura una rubrica sul «New York Times» ed è autore di tredici libri, tra cui *Le infinite forme. Un'introduzione alla biologia evoluzionistica* (Zanichelli, Bologna, 2013).

Il percorso dalle formiche agli antibiotici non è così strano. L'evoluzione del comportamento cooperativo delle società animali, come i formicai, dove le operaie femmine crescono le uova della loro regina, è studiata da decenni. Un nuovo filone di ricerca, a volte chiamato «sociomicrobiologia», sta rivelando che alcuni degli stessi principi che governano le formiche possono spiegare la nascita delle società batteriche. Come le formiche, i microbi vivono in comunità complesse, comunicando tra loro per il bene comune. Questo suggerisce una nuova strategia per fermare le infezioni: invece di attaccare i singoli batteri, come fanno gli antibiotici tradizionali, si esplora la possibilità di attaccare intere società batteriche.

Oggi abbiamo bisogno di nuove strategie: i batteri hanno evoluto una diffusa resistenza agli antibiotici, mettendo in crisi i medici. Per esempio, i Centers for Disease Control and Prevention stimano in circa 23.000 le morti ogni anno negli Stati Uniti dovute a infezioni resistenti agli antibiotici. Emergono ceppi di tubercolosi e altri patogeni resistenti a quasi tutti i farmaci. «È già un problema serio», dice Anthony S. Fauci, direttore del National Institute of Allergy and Infectious Diseases statunitense. «E c'è ogni motivo per credere che andrà ancora peggio».

La risposta standard a questa crisi è stata rallentare l'evoluzione della resistenza e trovare nuovi farmaci per sostituire i precedenti che si indeboliscono. Ma è un circolo vizioso: i batteri evolvono di continuo nuove resistenze e lo faranno fino a quando non troveremo un modo diverso di combatterli. «Tutte le volte che sviluppiamo un nuovo farmaco, fallisce», dice John Pepper, biologo teorico del National Cancer Institute (NCI). «La soluzione quindi è: facciamo un altro antibiotico. Funziona qualche mese, ma non basta più».

I batteri hanno evoluto una diffusa resistenza agli antibiotici, abbiamo bisogno di nuove strategie per combatterli

Molte specie infettive di batteri dipendono dal loro comportamento collettivo per farci ammalare. I sociomicrobiologi stanno indagando la possibilità di mettere in crisi le loro società, per esempio interferendo con le loro comunicazioni e bloccandone gli sforzi cooperativi di procurarsi i nutrienti. Attaccare la vita sociale dei batteri potrebbe non essere una strategia a prova di evoluzione, ma come minimo rallenterebbe parecchio l'evoluzione della resistenza.

I sociomicrobiologi devono convincere molti scettici. Nonostante un'argomentazione teorica dettagliata e alcuni promettenti risultati sperimentali, ci sono dubbi sull'efficacia di questi farmaci ispirati all'evoluzione nel bloccare il sorgere della resistenza. Le aziende farmaceutiche, che già in generale si sono allontanate dagli antibiotici, non sono ancora pronte per introdurre questi farmaci nel percorso che porta all'approvazione e al mercato.

I sociomicrobiologi stanno però destando qualche interesse. I National Institutes of Health (NIH) stanno sviluppando piani per la ricerca sulla resistenza agli antibiotici, e la vita sociale dei batteri è ritenuta una priorità. Se dovesse funzionare, si sarà invertita la relazione tra medicina ed evoluzione: nemico tradizionale nella lotta contro i batteri, l'evoluzione potrebbe diventare un alleato.

L'evoluzione della resistenza ai farmaci

La crisi della resistenza agli antibiotici ha avuto una lunga gestazione. Pochi anni dopo l'introduzione degli antibiotici, a metà del Novecento, i medici scoprirono batteri che potevano sopportarli. All'epoca non era chiaro che cosa stesse succedendo. Oggi seguiamo l'evoluzione della resistenza nei suoi dettagli molecolari.

La penicillina, per esempio, uccide i batteri attaccandosi a una proteina che aiuta a costruirne la membrana cellulare. Senza questa proteina ci sarà una perdita nel batterio, che morirà. In una qualsiasi popolazione di batteri, un piccolo numero di mutanti sarà in grado di difendersi contro la penicillina. I batteri, per esempio, hanno una pompa per espellere le molecole tossiche. Un mutante potrebbe produrre pompe aggiuntive, che permetterebbero di sbarazzarsi rapidamente della penicillina, liberando le proteine per costruire la membrana.

Normalmente una mutazione del genere non fornisce alcun vantaggio evolutivo a un batterio. Ma se un paziente assume una dose di penicillina per eliminare un'infezione, improvvisamente quelle pompe extra fanno una grande differenza: chi non ce l'ha muore, mentre alcuni mutanti sopravvivono. I sopravvissuti si moltiplicano, aumentando la frequenza nella popolazione, e nelle generazioni successive i discendenti dei mutanti originali potranno evolvere difese ancora più efficaci, in alcuni casi prendendo geni da altre specie batteriche.

Per decenni i nuovi farmaci sono stati sviluppati abbastanza rapidamente da sostituire quelli vecchi che non funzionavano più. Ma ora non ci sono novità all'orizzonte. Le spese di sviluppo di nuovi antibiotici hanno tagliato i margini di profitto, e molte aziende farmaceutiche hanno abbandonato il business degli antibiotici investendo in farmaci più redditizi contro i tumori oppure l'epatite.

Con l'aggravarsi della crisi, gli scienziati cercavano disperatamente un antibiotico che non diventasse obsoleto. E in qualche caso ci si illuse di aver trovato un farmaco a prova di evoluzione. Nel 1987, per esempio, Michael Zasloff, all'epoca agli NIH, scoprì che la rana africana *Xenopus laevis* produce sulla pelle una potente tossina contro i batteri. Zasloff e altri ricercatori scoprirono anche che gli anfibi non erano gli unici produttori di tossine. Più o meno ogni animale a cui guardavano produceva piccole proteine cariche positivamente che possono uccidere i batteri: una classe di molecole diventate note come peptidi antimicrobici.

In articoli di giornale e su riviste scientifiche, Zasloff prevedeva che difficilmente i batteri avrebbero evoluto una resistenza a quei farmaci. Gli animali, faceva notare, avevano usato i peptidi antimicrobici per centinaia di milioni di anni, e i batteri sono ancora oggi suscettibili ai peptidi. Nel 2003 Graham Bell, un biologo evoluzionista della McGill University, sostenne invece che l'ipotesi di Zasloff sarebbe stata confutata. Anche la penicillina e molti altri farmaci sono stati ottenuti da prodotti naturali, ma la medicina li ha usati in concentrazioni enormi nei pazienti, creando una grande pressione evolutiva che ha portato all'evoluzione delle resistenze. Secondo Bell, appena i medici avessero iniziato a somministrare pillole piene di peptidi antimicrobici, la storia si sarebbe ripetuta.

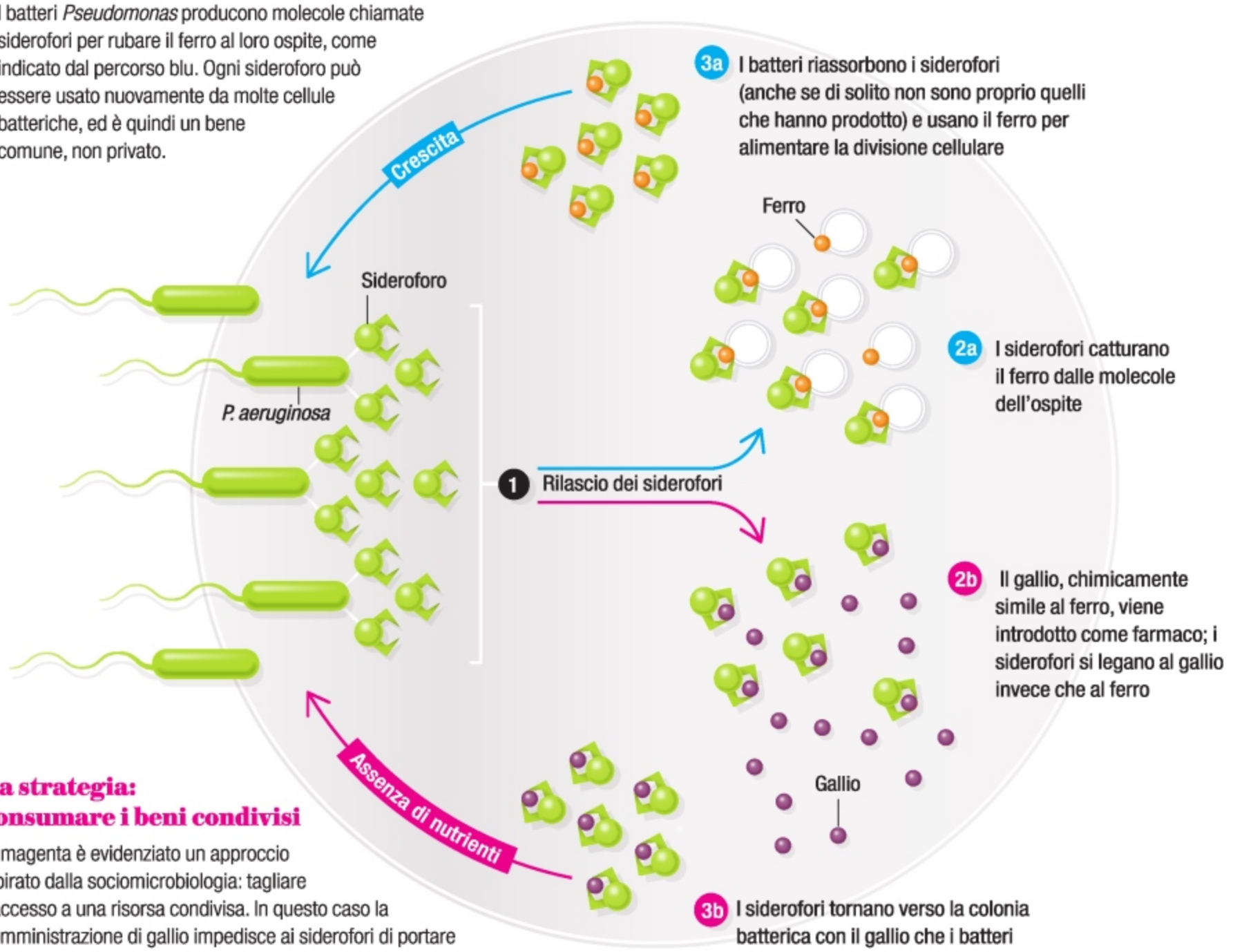
Zasloff sfidò Bell a vedere se i batteri potessero diventare re-

Lezioni dalla biologia evoluzionistica

I ricercatori sperano di sviluppare terapie antibatteriche più efficaci interferendo con la comunicazione e la cooperazione tra i microrganismi. In teoria questo approccio dovrebbe ridurre le possibilità di sviluppare resistenza ai farmaci perché nessuna singola cellula trarrebbe vantaggio dal mutare le modalità di risposta. Di seguito mostriamo un esempio che riguarda una molecola usata dai batteri *Pseudomonas* per rifornirsi di ferro.

L'obiettivo: ricerca collettiva dei nutrienti

I batteri *Pseudomonas* producono molecole chiamate siderofori per rubare il ferro al loro ospite, come indicato dal percorso blu. Ogni sideroforo può essere usato nuovamente da molte cellule batteriche, ed è quindi un bene comune, non privato.



La strategia: consumare i beni condivisi

In magenta è evidenziato un approccio ispirato dalla sociomicrobiologia: tagliare l'accesso a una risorsa condivisa. In questo caso la somministrazione di gallio impedisce ai siderofori di portare il ferro alla popolazione batterica. Anche se una singola cellula sviluppa una mutazione favorevole dei siderofori, quella cellula non si potrà rifornire perché probabilmente userà i siderofori prodotti da altri batteri.

sistenti al pexiganan, uno dei peptidi meglio studiati. Bell e il suo dottorando dell'epoca Gabriel Perron esposero una coltura di *Escherichia coli* a una bassa dose di pexiganan. Presero i batteri che erano sopravvissuti e crearono una nuova colonia, successivamente esposta a una dose più alta del farmaco. Aumentando le dosi, in poche settimane osservarono l'evoluzione di batteri resistenti al pexiganan, proprio come previsto da Bell.

Zasloff riconobbe subito che Bell aveva ragione. L'esperimento lo rese molto più cauto riguardo i peptidi antimicrobici. «Se qualcosa può avvenire in una provetta, è molto probabile che possa accadere nel modo reale», dichiarò Zasloff a «Nature».

Oggi non sappiamo per certo se questo sia vero, e non lo sapremo fino a quando i peptidi antimicrobici non verranno approvati per l'uso terapeutico contro le infezioni. Attualmente le aziende farmaceutiche hanno numerose sperimentazioni cliniche in corso, ma 28 anni dopo la loro scoperta neanche un peptide antimicrobico è stato approvato per la terapia delle infezioni. Sono vittime di un processo di sviluppo molto lento.

Cooperazione tra i batteri

Charles Darwin non aveva idea del fatto che i batteri sarebbero diventati uno dei migliori esempi della sua teoria della selezione naturale. All'epoca lui e gli altri scienziati sapevano poco o nulla di come crescono i batteri. Quando presentò la sua teoria in *L'Origine delle Specie*, nel 1859, scrisse invece di caratteri noti ai suoi colleghi vittoriani, come il pelo dei mammiferi e il colore delle piume degli uccelli.

Darwin scrisse anche di caratteri noti in natura che inizialmen-

Illustrazione di John Grimwade

te sembravano minare la sua teoria. Uno di questi era la sterilità delle operaie di molte specie di formiche. Nella teoria di Darwin, la selezione naturale aveva origine nella competizione tra individui per la sopravvivenza e la riproduzione. Ma le formiche operaie, che non si riproducono, sembravano fuori dalla competizione. La loro esistenza, scrisse Darwin, potrebbe essere «effettivamente fatale a tutta la mia teoria».

Darwin sospettava che una soluzione al paradosso delle formiche operaie si trovasse nella parentela. Un formicaio non è solo un ammasso casuale di estranei: è più simile a una famiglia estesa. Un gruppo di formiche imparentate potrebbe produrre più discendenti se collaborano, anziché da soli.

Le idee di Darwin sulla cooperazione hanno ispirato le ricerche ulteriori di generazioni di biologi evoluzionisti. Anche Kümmerli iniziò così, sequenziando il DNA delle formiche di diversi formicai per capire come la parentela ne influenzava il comportamento reciproco. La ricerca era affascinante, ma anche lenta e limitata. Avvicinandosi alla fine del dottorato, Kümmerli conobbe alcuni biologi evoluzionisti che erano passati dagli animali sociali ai batteri sociali.

Le parole «sociali» e «batteri» di solito non vengono in mente insieme, ma è invece emerso che i microbi vivono in comunità molto intime, ricche di conversazioni e cooperazioni. Consideriamo *Pseudomonas aeruginosa*, per esempio, una specie che causa serie infezioni polmonari. Quando uno di questi batteri infetta un ospite produce molecole di segnalazione, raccolte da altri membri della specie grazie a recettori particolari. Rilasciare e catturare queste molecole è per i batteri un modo di dire: «Sono qui, c'è qualcuno?».

Se i batteri percepiscono di essere in numero sufficiente, inizieranno a cooperare per costruire un rifugio: produrranno molecole appiccicose che formano uno strato in cui si infilano i batteri stessi. Questo cosiddetto biofilm si può attaccare sui rivestimenti dei polmoni e altri organi. Nel profondo del biofilm, i batteri sono protetti dagli attacchi del sistema immunitario.

I batteri *Pseudomonas* collaborano anche per nutrirsi: non possono crescere senza ferro, per esempio, ma nell'organismo umano non è facile da trovare perché le nostre cellule lo assorbono e lo bloccano nell'emoglobina e in altre molecole. Per trovare il ferro, ogni batterio libera molecole dette siderofori, che possono strappare gli atomi di ferro incastrati nelle nostre molecole. «Fondamentalmente, rubano questo elemento», dice Sam Brown, biologo evoluzionista dell'Università di Edimburgo. I batteri possono assorbire i siderofori carichi di ferro e usarlo per crescere.

Lo sforzo è profondamente cooperativo perché ogni sideroforo assorbito da un microrganismo è stato probabilmente prodotto da uno dei suoi milioni di vicini. «Una cellula pagherà un prezzo che va a vantaggio dell'intera infezione, non di quella singola cellula», dice Pepper dell'NCI. I teorici dell'evoluzione hanno un nome per queste molecole: bene comune. Queste molecole sono un bene destinato a un vasto pubblico: nel caso in questione, la comunità dei batteri. Sono l'opposto dei beni privati, che invece procurano un vantaggio solo al batterio che li ha prodotti.

I beni comuni rappresentano un paradosso darwiniano: teoricamente la selezione naturale dovrebbe eliminarli. I mutanti che non producono beni comuni possono comunque sfruttare quelli prodotti da altri. Questo squilibrio dovrebbe andare a vantaggio degli scrocconi: il mutante che non produce siderofori potrà comunque ottenere il ferro senza dover pagare il costo della produzione di siderofori. Dovrebbe quindi riprodursi più velocemente dei batteri cooperativi e diventare più comune. Ma in specie come *P. aeruginosa* sono i cooperanti a dominare, non gli scrocconi.

A metà dello scorso decennio, un piccolo gruppo di evoluzionisti ha iniziato a studiare questi aspetti intriganti della vita sociale dei batteri. L'Università di Edimburgo è emersa come uno dei principali centri per la sociomicrobiologia: per questo Kümmerli è andato lì nel 2007. Non ha iniziato subito a fare esperimenti: anni di studio delle formiche non l'avevano preparato al duro lavoro della microbiologia. Kümmerli e altri aspiranti sociomicrobiologi dovevano essere addestrati all'arte microbiologica. Hanno imparato a coltivare batteri, come prevenire le contaminazioni, come manipolarne i geni e come effettuare gli esperimenti. «Ci sono voluti anni per imparare tutti i metodi», racconta Kümmerli. «A volte non venivamo presi sul serio dai microbiologi classici».

Alla fine hanno ottenuto risultati. Hanno iniziato a capire i trucchi usati dai batteri sociali per tenere a bada gli scrocconi. Lavorando con Brown, per esempio, Kümmerli ha scoperto che i batteri *Pseudomonas* non producono un flusso continuo di siderofori, ma li sintetizzano tutti insieme, in una vampata iniziale. Una volta prodotte, queste molecole possono essere riciclate. I batteri assorbono i siderofori pieni di ferro, si prendono il ferro e risputano fuori i siderofori. Grazie alla capacità dei siderofori di durare a lungo, i batteri non consumano molta energia per produrne di nuovi con cui sostituire i vecchi. Riciclare abbassa i costi della cooperazione, e aiuta a diminuire i vantaggi dell'essere uno scroccone.

Farmaci basati sull'evoluzione dei batteri sarebbero un passo in avanti, anche se non dovessero essere la soluzione definitiva

Mentre progredivano nelle ricerche sull'evoluzione sociale dei batteri, i sociobiologi cominciarono a domandarsi se le nuove conoscenze potessero essere applicate in modo pratico: trovando nuovi tipi di farmaci per combattere le infezioni.

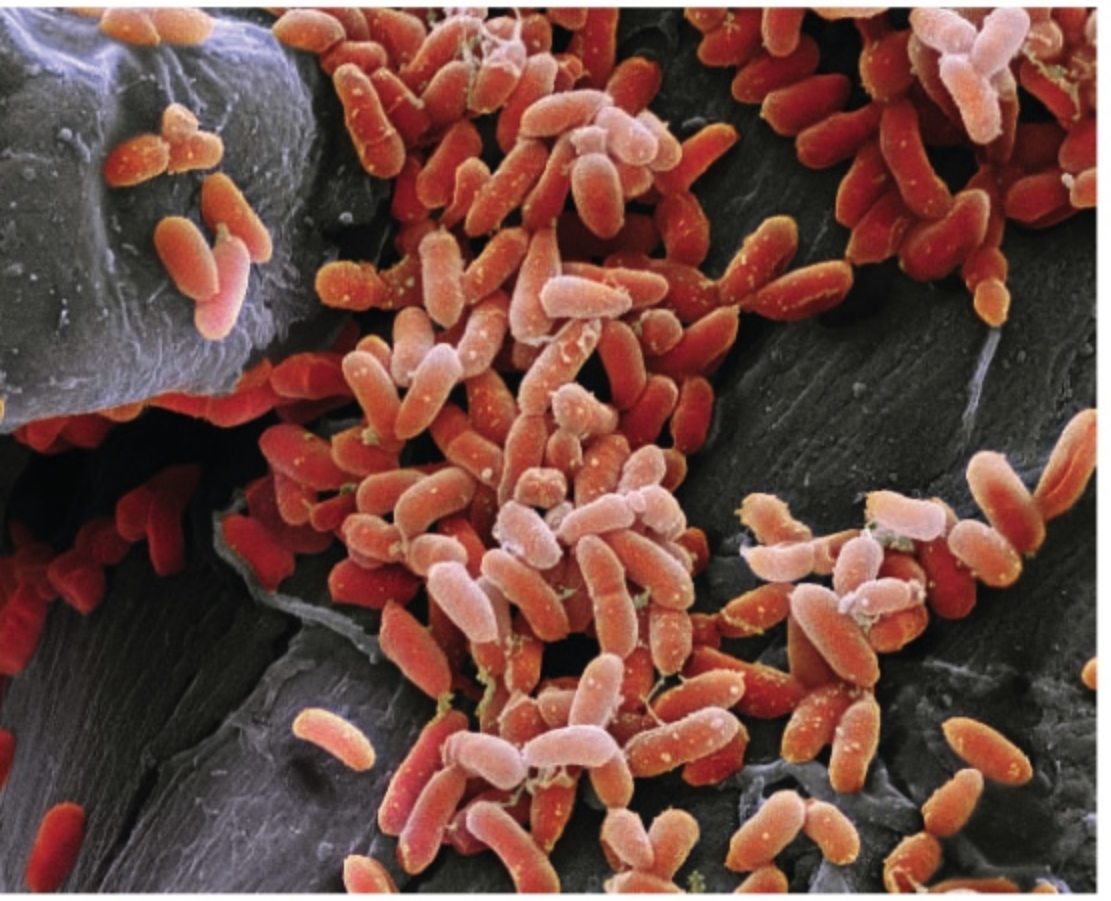
Il punto di svolta

Per un biologo evoluzionista, tutti gli antibiotici oggi in uso sono fondamentalmente la stessa cosa: ognuno di essi attacca i beni privati dei batteri. Se un batterio muta per proteggere i propri beni vincerà la competizione con gli altri batteri che non possono fare lo stesso. La sociomicrobiologia ha indicato un nuovo obiettivo per fermare le infezioni. «Invece di colpire le singole cellule, attacchiamo i loro beni comuni», dice Pepper.

La teoria evoluzionista prevede che i batteri abbiano meno possibilità di evolvere resistenza ai farmaci che colpiscono i loro beni comuni. Immaginate, per esempio, che si sviluppi un farmaco che colpisce i siderofori. Come risultato, i batteri rimarrebbero senza ferro.

Ora immaginate che un singolo batterio acquisisca una mutazione in grado di proteggere i siderofori dal farmaco. Quel mutante non avrebbe alcun vantaggio. I batteri liberano collettivamente tutti i loro siderofori nell'ospite, dove le molecole si mescolano. Quando un batterio assorbe un sideroforo carico di ferro, quasi certamente è quello di un altro. Di conseguenza, i mutanti non possono riprodursi più degli altri batteri.

I sociomicrobiologi hanno prima sviluppato il ragionamento in astratto, con equazioni matematiche e simulazioni al computer. «Abbiamo elaborato tutte queste teorie e ci siamo detti: dovrebbe funzionare, se solo ci provassimo», racconta Pepper. «Ma



Gruppo nemico: le attività collettive permettono ai batteri *Pseudomonas aeruginosa*, qui sopra in una micrografia elettronica, di causare infezioni difficili da eliminare.

tutti quegli sforzi sono inutili se nessuno fa la prova». Ora gli esperimenti sono in corso. Di recente, per esempio, Kümmerli, Brown e collaboratori hanno testato un farmaco che attacca i siderofori. Ricerche precedenti avevano mostrato che i siderofori di *Pseudomonas* si legano al gallio, un altro metallo, con la stessa facilità mostrata per il ferro. Ci si è quindi chiesto se usare il gallio come farmaco avrebbe affamato di ferro i batteri.

Per scoprirlo hanno effettuato un esperimento con bruchi. Hanno infettato gli insetti con *Pseudomonas* e hanno lasciato progredire l'infezione in alcuni di essi, che sono tutti morti. Invece i bruchi a cui era stato dato il gallio sono tutti sopravvissuti.

Avendo mostrato che il gallio può funzionare come farmaco antibatterico, è stato effettuato un altro esperimento per capire se i batteri riuscivano a evolvere resistenza. La teoria dell'evoluzione prevedeva che non sarebbe successo. «Eravamo piuttosto nervosi mentre sperimentavamo l'evoluzione», ricorda Kümmerli. Lui e i colleghi sapevano benissimo che molti farmaci promettenti erano stati sconfitti dalla forza evolutiva. «Speravamo che non ci fosse alcuna evoluzione», aggiunge.

Nel nuovo esperimento hanno fatto crescere *Pseudomonas* in una coltura che includeva ferro. Ma il ferro era legato a molecole che i batteri non potevano assorbire: per sopravvivere dovevano usare i siderofori per staccare il ferro da queste molecole. In una serie di esperimenti, i batteri sono stati esposti agli antibiotici convenzionali. All'inizio i farmaci rallentavano rapidamente la crescita dei batteri. Dopo 12 giorni di esposizione i batteri erano diventati resistenti agli antibiotici.

Hanno poi eseguito di nuovo l'esperimento, questa volta esponendo i batteri al gallio invece che agli antibiotici convenzionali. Il gallio riduceva drasticamente la crescita dei batteri. Dopo dodici giorni i batteri erano ancora suscettibili al gallio come all'inizio dell'esperimento. Il test aveva confermato le previsioni dei sociomicrobiologi. Un farmaco che colpiva i beni comuni aveva evitato l'evoluzione della resistenza.

Pepper, che non è stato coinvolto nello studio, considera l'esperimento con il gallio un grande successo della sociomicrobiologia: «Credo fosse esattamente quello che ci voleva. Spero diventi un punto di svolta per molti», osserva.

Kümmerli spera che altri ricercatori inizino a testare il gallio in topi infetti, e magari tra qualche anno negli esseri umani. Queste sperimentazioni sarebbero relativamente semplici perché il gallio è già stato sperimentato sugli esseri umani per diverse terapie.

Potenziali farmaci

I siderofori solo sono uno dei tanti beni comuni che i sociomicrobiologi studiano come potenziali obiettivi per i farmaci. Alcuni batteri, per esempio, ci fanno ammalare liberando tossine. Lo fanno però solo dopo che la popolazione è sufficientemente grande da dare una bella botta. A quel punto liberano tossine che rompono le nostre cellule, rendendo così disponibili molecole che servono da nutrimento ai batteri. Farmaci in grado di fermare le tossine potrebbero neutralizzare i batteri senza ucciderli.

Altri ricercatori analizzano i segnali che si scambiano i batteri, e hanno trovato molecole che possono disturbare questa comunicazione in diversi modi, per esempio bloccando i recettori che normalmente captano le molecole di segnalazione. Se i batteri non possono comunicare tra loro, non possono cooperare.

I farmaci antisociali potrebbero avere anche un altro vantaggio rispetto agli antibiotici convenzionali: invece di eliminare tante specie di batteri contemporaneamente, potrebbero avere obiettivi più specifici, perché di solito i beni comuni di una specie sono tipici di quella specie. Per questo i farmaci antisociali potrebbero avere meno tossicità nei confronti dei microrganismi buoni.

Sebbene questi studi siano molto promettenti, alcuni addetti ai lavori rimangono scettici sulla possibilità di evitare la resistenza. Thomas Wood della Pennsylvania State University e colleghi hanno studiato alcuni dei più promettenti tra questi nuovi farmaci. I loro risultati invitano alla cautela. In un esperimento su un farmaco che interferisce con i segnali batterici hanno osservato mutanti capaci di crescere nonostante il farmaco. In altri termini, i batteri hanno evoluto un modo di vivere senza un bene pubblico. «Non sono senza speranze – dice Wood – semplicemente non penso che questa classe di farmaci sia una panacea».

È possibile che i risultati di Wood significhino solo che alcuni beni comuni non sono davvero essenziali. Se fosse così, allora i farmaci basati sull'evoluzione dovranno colpire solo quelli essenziali.

Anche se fossero solo capaci di rallentare l'evoluzione della resistenza, sostiene Pepper, i farmaci antisociali sarebbero comunque un grande progresso: «Stiamo perdendo questa corsa, e ci sono vite in gioco. Anche se riuscissimo solo a guadagnare un piccolo vantaggio rispetto all'avversario, potremmo comunque salvare molte persone». ■

PER APPROFONDIRE

Hacking into Bacterial Biofilms: A New Therapeutic Challenge. Bordi C. e de Bentzmann S., in «Annals of Intensive Care», Vol. 1, articolo n. 19, 13 giugno 2011. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21906350.**

Gallium-Mediated Siderophore Quenching as an Evolutionarily Robust Antibacterial Treatment. Ross-Gillespie A. e altri, in «Evolution, Medicine, and Public Health», Vol. 2014, n. 1, pp. 18–29, 2014. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24480613.**

La sfida della resistenza agli antibiotici. Levy S. B., in «Le Scienze», n. 357, maggio 1998.

Combattere i biofilm. Costerton J. W. e Stewart P. S., in «Le Scienze», n. 396, agosto, 2001.

Steve Gschmeissner/Science Source

La questione del libero arbitrio

Ci sono neuroni che si attivano prima ancora che ci rendiamo conto di aver preso una decisione. Ma questa scoperta non significa che siamo soltanto dei «burattini biochimici»

di Eddy Nahmias

Un po' di notti fa invece di dormire pensavo a come iniziare questo articolo. Immaginavo varie possibilità per la prima frase, poi per la successiva, e quella dopo ancora. Poi ragionavo su come passare al paragrafo seguente e al resto del pezzo. Pro e contro delle varie opzioni si rincorrevano nella testa, impedendomi di scivolare nel sonno. E intanto i neuroni ronzavano nel mio cervello.

Proprio questa attività neurale spiega perché stavo immaginando tutte queste possibilità; e spiega anche perché sto scrivendo queste parole. E anche perché sono dotato di libero arbitrio.

Sempre più spesso, neuroscienziati, psicologi ed esperti vari di dicono che ho torto. Invocando una serie di studi, sostengono che a spingermi a scegliere le parole che ho finito per scrivere sono stati dei processi inconsci. La loro tesi è che le nostre decisioni consapevoli si presentano solo dopo che i nostri ingranaggi neurali, al di sotto del livello della coscienza, hanno già determinato quale sarà la nostra scelta. Da ciò consegue che, visto che «è il nostro cervello a farcelo fare» – a scegliere per noi un'opzione invece di un'altra – il libero arbitrio non è nulla più che un'illusione.

Gli esperimenti citati più spesso per sostenere questa tesi quelli condotti da Benjamin Libet negli anni ottanta all'Università della California a San Francisco. Posti sul capo dei soggetti vari elettrodi, lo studioso diceva loro di flettere il polso quando si sentivano di farlo. Gli elettrodi coglievano delle fluttuazioni nell'attività elettrica, dette potenziale di preparazione, che si presentavano circa mezzo secondo prima che effettuassero il movimento, ma poiché i soggetti diventavano consapevoli della propria intenzione solo un quarto di secondo prima di compierlo, se ne concluse che il loro cervello aveva deciso prima che si rendessero conto di ciò

Illustrazione di Simon Prades

Eddy Nahmias è professore nel dipartimento di filosofia e nell'Istituto di neuroscienze dell'Università statale della Georgia.

che avrebbero fatto. In sostanza, al posto di guida c'erano i processi inconsci del cervello.

Studi più recenti con la risonanza magnetica funzionale (fMRI) hanno suggerito che le radici inconsce dei nostri comportamenti siano ancor più lontane. In una ricerca del 2013, John-Dylan Haynes, del Bernstein Center for Computational Neuroscience di Berlino, ha chiesto ad alcuni volontari di decidere se addizionare o sottrarre due numeri mentre erano sottoposti a scansione fMRI. E ha trovato degli schemi di attività neurale cui si poteva prevedere se avrebbero scelto la sottrazione o l'addizione, schemi che si presentavano quattro secondi prima che i soggetti avessero coscienza di fare la propria scelta – un tempo di latenza piuttosto notevole.

Questi studi e altri studi simili hanno condotto a grandiosi proclami sulla «morte del libero arbitrio». «Le nostre decisioni sono determinate a livello inconscio molto prima che entri in gioco la coscienza», ha commentato Haynes su «New Scientist», aggiungendo che «sembra che a prendere le decisioni sia il cervello prima della persona». Il biologo evoluzionista Jerry Coyne ha scritto: «Così è per tutte le nostre scelte: neppure una di esse risulta da una libera e consapevole decisione da parte nostra. Non c'è libertà di scelta, il libero arbitrio non esiste». Sam Harris, studioso di neuroscienze, ha tratto da queste scoperte la conclusione che siamo dei «burattini biochimici»: «Se con un dispositivo di scansione cerebrale potessimo individuare le loro scelte coscienti diversi secondi prima che le persone siano consapevoli di farle... ciò metterebbe direttamente in discussione il loro status di agenti coscienti al comando della propria vita interiore».

Ma le ricerche dimostrano davvero che tutte le nostre decisioni e i nostri progetti non sono che un sottoprodotto dell'attività inconscia del cervello, e non hanno alcun effetto su ciò che poi facciamo? Assolutamente no. Altri, come il filosofo Alfred R. Mele dell'Università statale della Florida, e io stesso, sostengono che chi insiste che il libero arbitrio è un miraggio è in errore.

Non così in fretta

Ho definito quelli che dicono che la scienza dimostra che il libero arbitrio è un'illusione «willusionisti», fondendo le due parole inglesi che significano volontà e illusione. Ci sono molte ragioni per considerare i loro argomenti con diffidenza. In primo luogo, i metodi delle neuroscienze non sono ancora tecnicamente abbastanza raffinati per determinare se l'attività neurale sottostante al nostro immaginare e valutare le opzioni future abbia o no un impatto sulle scelte che poi mettiamo in atto a distanza di minuti, ore o giorni. Le ricerche discusse dai willusionisti, d'altra parte, mancano di una chiara definizione del confine che separa azioni coscienti e azioni inconsce.

L'esperimento di Libet, per esempio, cominciava con i partecipanti che si disponevano consapevolmente a eseguire una serie di azioni ripetitive non pianificate. Una volta iniziato l'esperimento, flettevano il polso quando veniva loro spontaneamente voglia di farlo. È presumibile che l'attività neurale coinvolta nella programmazione iniziale abbia influenzato il successivo innesco inconscio dei movimenti; e ciò rivela che c'è un'interazione tra l'attività cerebrale cosciente e quella inconscia.

Nemmeno lo studio di Haynes ci dà una prova convincente a sfavore del libero arbitrio. L'attività cerebrale precoce che si verificava quattro secondi prima che i partecipanti fossero consapevoli di scegliere se addizionare o sottrarre potrebbe indicare solo un'inclinazione inconscia verso l'una o l'altra possibilità. E permetteva di predire la scelta con una precisione superiore solo del 10 per cento a quella ottenibile lanciando una moneta. In generale, poi, non è possibile che l'attività cerebrale prenda decisioni *definitive* sulle nostre scelte quattro secondi prima del momento dell'azione, perché noi siamo in grado di reagire ai cambiamenti delle situazioni in tempi più brevi. Se così non fosse, saremmo tutti già morti in un incidente d'auto. Un'attività neurale inconscia, però, può prepararci a eseguire una certa azione avvertendoci di sorvegliare consapevolmente ciò che facciamo per poter poi aggiustare il nostro comportamento durante il suo svolgimento.

I willusionisti sottolineano anche le ricerche che mostrano che il nostro controllo cosciente delle azioni che compiamo è minore di quanto crediamo. Ed è vero che spesso subiamo senza saperlo l'influenza di qualche sottile elemento di ciò che vediamo e di inclinazioni e tendenze di tipo emozionale o cognitivo. Finché non comprendiamo questi aspetti, non siamo liberi di contrastarli. Questo è uno dei motivi per cui penso che abbiamo il libero arbitrio, ma in misura minore di quanto si tenda a credere. Ma c'è una grossa differenza tra ritenere di averne meno e credere di non averlo affatto.

Ricerche come quelle di Libet e Hayes trattano di scelte che le persone fanno senza deliberazione cosciente al momento dell'azione. Ognuno di noi ha dei comportamenti ripetitivi o abituali, a volte anche molto raffinati, che però non richiedono grandi sforzi di pensiero perché oramai sono stati appresi. Io che infilo la chiave nella toppa. Il portiere di calcio che si tuffa su una palla. Il pianista che esegue il *Chiaro di Luna* di Beethoven. Il gesto riflesso con cui giro la chiave, il balzo verso la palla o la pressione dei tasti bianchi e neri richiedono un certo tipo di elaborazione mentale. Ma ciò che stavo facendo in quella notte insonne – l'esame consapevole di una serie di possibilità alternative – è un'attività del tutto diversa da una routine appresa per ripetizione. Un intero corpus di ricerche mostra che elaborare i nostri pensieri in modo consapevole e orientato produce differenze reali nelle nostre azioni.

Questi lavori indicano che formulare l'intenzione di svolgere un compito– gli psicologi parlano di «intenzioni di attuazione» – ac-

IN BREVE

Una delle massime questioni delle neuroscienze, della filosofia e più in generale del dibattito pubblico è se l'assunto che siamo dotati di libero arbitrio non sia fondamentalmente sbagliato. Se lo è, molti dei precetti legali e morali che sono alla base delle nostre istituzione sociali vanno messi in discussione.

Il dubbio è dovuto ai raffinati esperimenti compiuti negli ultimi decenni, che hanno mostrato che il cervello dà inizio ad almeno qualcuna delle nostre azioni prima che noi ci rendiamo consapevolmente conto di aver preso una decisione. Se le cose stanno così, qual è il ruolo del libero arbitro, sempre che esista?

È possibile che la nostra volontà sia meno libera di quanto si crede, ma questo non significa essere del tutto privi del libero arbitrio. Recenti esperimenti di psicologia sociale hanno mostrato che i ragionamenti e le intenzioni coscienti hanno un impatto significativo sulle nostre azioni.

cresce la probabilità che quel comportamento sia poi effettivamente messo in atto.

Uno studio di Peter Gollwitzer, della New York University, e colleghi ha rivelato chi si metteva a dieta formulando l'intenzione consapevole di ignorare ogni pensiero tentatore sui cibi proibiti ne mangiavano di meno di quelli che si ponevano solo l'obiettivo di perdere peso. Roy F. Baumeister dell'Università Statale della Florida ha dimostrato che il ragionamento cosciente migliora le prestazioni nei compiti logici e linguistici aiuta a imparare dagli errori del passato e superare i comportamenti impulsivi. Walter Mischel, inoltre, della Columbia University, ha trovato che la nostra capacità di distrarre volontariamente l'attenzione dalle tentazioni è cruciale per l'autocontrollo.

Ciascuno di noi compie ogni giorno delle azioni che ha pianificato consapevolmente. Può darsi che l'attività neurale che effettua questa pianificazione sia priva di effetti su ciò che facciamo, o serva solo a elaborare delle storie a posteriori per spiegare le nostre azioni a noi stessi e agli altri. Ma dal punto di vista evoluzionistico ciò avrebbe ben poco senso. Il cervello costituisce solo il due per cento, in peso, del corpo umano, ma consuma il 20 per cento della sua energia. Dovrebbero esserci forti pressioni evolutive contro processi neurali che abilitassero un'intricata attività di pensiero cosciente ma irrilevante per il comportamento. È estremamente probabile, invece, che questo articolo sia scritto in questo modo proprio a causa dei circuiti cerebrali che mi hanno fatto pensare che questo sia il modo migliore di scriverlo.

Libero arbitrio nel cervello?

Secondo i willusionisti, però, quest'elaborazione cerebrale interna non può essere considerata libero arbitrio, e definiscono spesso chi crede nel libero arbitrio come un «dualista», convinto che la mente esista in qualche modo come entità non fisica, separata dal cervello. «Il libero arbitrio è l'idea che facciamo delle scelte e abbiamo dei pensieri indipendentemente da ogni cosa che somigli anche solo lontanamente a un processo fisico», ha scritto uno studioso di neuroscienze, Read Montague, nel 2008. E Coyne ha sostenuto che «il vero "libero arbitrio" ... richiederebbe di uscire dalla struttura del nostro cervello e modificare il modo in cui funziona».

È vero che qualcuno concepisce così il libero arbitrio. Ma non ci sono buone ragioni per farlo. La maggior parte delle teorie filosofiche sviluppa un'idea di libero arbitrio che è coerente con una visione scientifica della natura umana. E malgrado le pretese dei willusionisti, gli studi fanno pensare che la maggior parte della gente accetti l'idea che possiamo avere il libero arbitrio anche se la nostra attività mentale si deve per intero a quella del cervello. Se la maggior parte dell persone non ha una concezione dualistica del libero arbitrio, allora è sbagliato dir loro che il libero arbitrio è un'illusione in base all'idea scientifica della falsità del dualismo.

Un modo per verificare le convinzioni delle persone in tema di libero arbitrio è descrivere la possibilità di una tecnologia di visualizzazione cerebrale che consenta di prevedere perfettamente le azioni sulla base delle informazioni sulla precedente attività del cervello. In effetti, Harris ha suggerito che questa situazione «smaschererebbe questa sensazione [di libero arbitrio] per quello che è: *un'illusione*».

Jason Shepard della Emory University, Shane Reuter della Washington University di St. Louis e io abbiamo deciso di verificare con una serie di esperimenti se è vero che sapere l'elaborazione inconscia delle informazioni da parte del cervello consente di prevedere i comportamenti porta a mettere in dubbio l'esistenza del libero arbitrio. Abbiamo presentato ai nostri soggetti degli scenari dettagliati che descrivevano una tecnologia futuristica di visualizzazione cerebrale, proprio come postulato da Harris.

Agli studi hanno partecipato centinaia di studenti dell'Università statale della Georgia. Leggevano la storia di una certa Jill che, in un lontano futuro, indossava per un mese una cuffia in grado di visualizzare la sua attività cerebrale. Grazie alle informazioni raccolte dallo strumento, gli scienziati potevano predire tutto ciò che pensava e faceva, anche quando cercava di imbrogliare il sistema. La conclusione era: «Questi esperimenti provano che tutta l'attività mentale umana non è altro che un'attività del cervello, di modo che ogni cosa che ogni essere umano pensa o fa può essere prevista in anticipo sulla base della sua precedente attività cerebrale».

Oltre l'80 per cento dei partecipanti ha riferito di credere che una simile tecnologia fosse possibile in un futuro, ma l'87 per cento ha detto che Jill continuava a essere dotata di libero arbitrio. Un'altra domanda era se l'esistenza di una simile tecnologia avrebbe indicato che le persone sono prive di libero arbitrio. Il 75 per cento circa dei soggetti si è dichiarato in disaccordo. Ulteriori risultati mostrano che, secondo una maggioranza significativa, finché la tecnologia non avesse consentito che i cervelli fossero manipolati e controllati dall'esterno, le persone avrebbero avuto il libero arbitrio e la responsabilità morale del proprio comportamento.

La maggior parte dei partecipanti all'esperimento sembrava ritenere che l'ipotetico strumento di scansione cerebrale stesse semplicemente registrando l'attività cerebrale di cui consistono i ragionamenti e le considerazioni consapevoli di Jill sulle decisioni da prendere. Invece di ritenere che fosse il suo cervello a far sì che Jill compisse certe azioni – e che lei fosse priva di libero arbitrio – pensavano che lo strumento seguisse soltanto il funzionamento del suo libero arbitrio nel cervello.

Perché, allora, i willusionisti credono il contrario? Forse dipende dall'attuale stadio delle nostre conoscenze. Fino a che le neuroscienze non saranno in grado di spiegare la coscienza – il che richiederà una teoria che spieghi come le nostre menti non siano né riducibili a né distinte dai meccanismi e dal funzionamento dei nostri cervelli – sarà forte la tentazione di pensare, come sembrano fare i willusionisti, che se il cervello fa tutto non resta più nulla da fare per la mente cosciente.

I progressi delle neuroscienze e il miglioramento delle tecnologie di visualizzazione ci aiuteranno, si spera, a svelare più chiaramente fin dove arrivi il nostro controllo consapevole e in che misura le nostre azioni siano governate da processi fuori dal nostro controllo. Trovare soluzioni a queste questioni sul libero arbitrio è importante. Il nostro sistema legale – e il fondamento morale di molte delle istituzioni della nostra società – richiede una migliore comprensione di quanto – e quando – le persone sono o non sono responsabili di quel che fanno. ■

PER APPROFONDIRE

Conscious Thought Is for Facilitating Social and Cultural Interactions: How Mental Simulations Serve the Animal-Culture Interface. Baumeister R. F. e. Masicampo J., in «Psychological Review», Vol. 117, n. 3, pp. 945–971, luglio 2010.

Predicting Free Choices for Abstract Intentions. Soon C. S. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 110, n. 15, 9 aprile 2013.

It's OK If "My Brain Made Me Do It": People's Intuitions about Free Will and Neuroscientific Prediction. Nahmias E., Shepard J. e Reuter S., in «Cognition», Vol. 133, n. 2, pp. 502–516, novembre 2014.

Esperimenti sul pensiero. Knobe J., in «Le Scienze», n. 522, novembre 2011.

BIODIVERSITÀ

L'isola delle rane

Il Madagascar ospita numerose specie di anfibi a rischio d'estinzione a causa di molteplici attività umane, ora un progetto che coinvolge istituzioni, scienziati e popolazioni locali cercherà di proteggerli

di Franco Andreone, Angelica Crottini e Herilala Randriamahazo

Primo piano. Un esemplare di *Boophis tasymena*, rana endemica delle foreste pluviali del Madagascar orientale. I maschi sono grandi tra 21 e 23 millimetri, le femmine circa 32 millimetri. Per ora questa specie non è a rischio, ma la distruzione dell'habitat da parte delle attività umane potrebbe minacciarne l'esistenza in futuro.

Cortesia Franco Andreone

In alcune aree del mondo gli esperimenti evolutivi hanno dato il meglio di sé, producendo una profusione di specie di piante e di animali endemici, ovvero che non si trovano altrove. Queste aree sono spesso isole, come Australia e Galápagos. A questo proposito il Madagascar, al largo della costa meridionale dell'Africa orientale, la quarta isola al mondo per estensione, non è da meno, anzi. Più o meno tutti i naturalisti hanno nel proprio cuore un «posticino» per questa isola, territorio unico per la sua ricchezza di lemuri, baobab, orchidee, rettili... e rane. Forse non sembrava, a prima vista, ma le recenti esplorazioni stanno dimostrando quanto gli anfibi si siano straordinariamente diversificati in Madagascar, e poco alla volta si sta scoprendo il motivo per cui questi vertebrati siano riusciti a differenziarsi in modo tanto eccezionale.

Oggi sul nostro pianeta si contano oltre 7300 specie di anfibi: in Madagascar il loro numero gravita attorno alle 300 specie a oggi descritte, un numero di tutto rispetto. Ma la tassonomia integrata (un metodo che usa l'integrazione di strumenti e metodologie varie, comprese morfologia, genetica, comportamento ed ecologia) ha evidenziato come siano almeno altre 200 le specie ancora da descrivere e conservare.

Nell'immaginario dei più, il Madagascar è un territorio ammantato da foreste, sebbene nella realtà sia uno dei luoghi dove maggiormente si consuma il dramma ecologico della deforestazione. Da quando l'uomo è arrivato sull'isola a seguito di migrazioni da Indonesia e Africa, circa 2000 anni fa, le foreste primordiali hanno iniziato a lasciare spazio alle coltivazioni e all'allevamento degli zebù, e davvero poche sono le aree forestali che ancora oggi sopravvivono. Purtroppo la fragilità del terreno tropicale e degli ecosistemi malgasci ha fatto sì che una volta deforestati non consentissero più una facile e immediata ricrescita delle foreste originali, le quali si sono ristrette e frammentate sempre di più, con l'ovvia conseguenza negativa sulla biodiversità animale e vegetale da loro ospitata.

IN BREVE

Il Madagascar, di fronte alla costa meridionale dell'Africa orientale, è ricco di specie di rane endemiche, che cioè non si trovano in altre aree della Terra.

Questa straordinaria diversità è messa a rischio dalla distruzione degli habitat di questi piccoli anfibi causata dalla deforestazione e dal commercio di rane. Ulteriori rischi potrebbero venire da un fungo che è tra i principali responsabili del declino mondiale degli anfibi e dall'introduzione di specie aliene.

Un progetto internazionale in collaborazione con autorità, comunità scientifica e popolazione locali mira a proteggere le rane dal rischio estinzione e a essere un esempio per altri progetti di conservazione.

Gli anfibi, in particolare, hanno subito notevolmente questa alterazione, poiché sono fra i più sensibili vertebrati al mondo. Il motivo di questa loro «delicatezza» è ormai conosciuto da tempo e risiede, fra le altre cose, nel doppio ciclo vitale (prima con girini acquatici e poi con adulti terrestri), che li vede legati sia all'acqua che alla terra, una delle caratteristiche che ha fatto sì che circa un terzo delle specie mondiali note sia in crescente pericolo di estinzione. Si parla anche di sensibilità all'alterazione degli habitat, agli inquinanti e ai vari predatori introdotti. Più di recente, una malattia «emergente» a livello mondiale causata dal fungo microscopico *Batrachochytrium dendrobatidis*, la chitridiomicosi, ha provocato il rapido declino, e in alcuni casi addirittura l'estinzione, di popolazioni e di specie di anfibi in tutto il mondo, anche se a eccezione, per il momento, del Madagascar.

Piano di azione

Con la sua enorme ricchezza di specie di anfibi e con l'attenzione particolare ricevuta dai ricercatori, il Madagascar è un luogo ideale per promuovere la conservazione dei suoi anfibi. Allo stesso tempo questa idea è anche un po' bizzarra. Pensare di proteggere faune un tempo, e a torto, considerate «minori», come sono gli animali a sangue freddo, e senza un evidente ritorno economico è anche provocatorio, in un paese il cui prodotto interno lordo è fra gli ultimi al mondo e dove il reddito medio *pro capite* si aggira intorno a 2 dollari al giorno. Allo stesso tempo però è evidente che la conservazione della natura rappresenta una delle poche risorse, probabilmente la più importante. È per questo che nell'ultimo decennio abbiamo speso tempo ed energia per sostenere azioni di conservazione degli anfibi in Madagascar.

Personalmente ci siamo trovati in «prima linea» a causa innanzitutto della nostra passione e perché abbiamo sempre ritenuto che lo studio degli anfibi meritasse un'attenzione particolare. Era importante descrivere le nuove specie, ma allo stesso tempo era anche fondamentale coinvolgere opinione pubblica, politici e tecnici per convincerli che la conservazione degli anfibi in Madagascar poteva rappresentare un'opportunità di sviluppo per le popolazioni locali e per proiettare questo paese all'avanguardia nella conservazione della diversità biologica.

L'opportunità di fare qualcosa di concreto in questo senso venne in occasione di un grande evento, il lancio dell'Amphibian Conservation Action Plan, organizzato nel 2005 a Washington dalla Declining Amphibian Population Task Force. In questo ambito due guru della conservazione mondiale, Russell A. Mittermeier, presidente di Conservation International, e Claude Gascon, coordinatore dell'Amphibian Specialist Group, proposero a uno di noi, che già da diversi anni portava avanti progetti di ricerca sugli anfibi malgasci, con un occhio alla loro conservazione, di coordinare un ambizioso progetto di salvaguardia nazionale.

Questa offerta rappresentava una ghiotta possibilità per mettersi in gioco e portare gli anfibi malgasci alla ribalta mondiale. La sponda con la comunità scientifica locale venne con la collaborazione di Herilala Randriamahazo, anche lui appassionato e convinto sostenitore degli studi erpetologici in Madagascar. Insieme, nel 2006 organizzammo il primo incontro sulla conservazione degli anfibi malgasci, un *workshop* intitolato *A Conservation Strategy for the Amphibians of Madagascar* (ACSAM). Nella capitale Antananarivo si incontrarono i più importanti ricercatori impegnati sul campo. Tra questi, per esempio, Christopher J. Raxworthy, il quale da oltre vent'anni esplorava le più remote foreste del Madagascar, e i tedeschi Miguel Vences e Frank Glaw che avevano già realizzato due edizioni dell'irrinunciabile guida da campo sugli anfibi e rettili dell'isola. Oltre a loro, si unirono tanti altri ricercatori locali e stranieri che si stavano dando da fare per studiare e proteggere la biodiversità del Madagascar, ma anche molti politici e persone chiave di amministrazioni e associazioni conservazionistiche.

Franco Andreone è biologo della conservazione e zoologo al Museo regionale di scienze naturali di Torino, ed è *Co-chair* dell'IUCN SSC Amphibian Specialist Group per il Madagascar, dove ha ideato e promosso l'Iniziativa ACSAM.

Angelica Crottini è ricercatrice del CIBIO-InBIO, centro di ricerca dell'Università di Porto, in Portogallo.

Herilala Randriamahazo è *Past Co-chair* dell'IUCN SSC Amphibian Specialist Group per il Madagascar.

Da questo incontro nacque il piano d'azione nazionale chiamato *Sahonagasy*, parola malgascia che vuole dire appunto «rane del Madagascar». Così fu possibile definire una serie di indirizzi strategici di ricerca, conservazione e sensibilizzazione ecologica. Di fatto, un esempio mondiale per la conservazione degli anfibi. Le linee d'azione furono sviluppate su diversi fronti. Innanzitutto furono categorizzate tutte le specie di anfibi, usando le metodiche della Lista rossa dell'Unione internazionale per la conservazione della natura (UICN). In questo modo vennero identificate le specie maggiormente in pericolo critico. Fu soprattutto per queste specie che negli anni a seguire si favorì la realizzazione di progetti di conservazione appositamente dedicati.

Salvare le rane, alcuni esempi

Per esempio fu possibile procedere alla conservazione di una delle specie più minacciate in Madagascar e nel mondo intero: la mantella arlecchino (*Mantella cowanii*). Questa piccola rana dalla vivace colorazione nera e rossa sopravvive in poche aree dell'altopiano centrale malgascio. In queste aree le foreste pluviali originali sono scomparse da tempo, dato che il legno ricavato è stato usato per la costruzione di case e come combustibile quotidiano, e le restanti praterie montane sono state divorate dal *tavy,* la pratica del «taglia e brucia» di origine indonesiana che ancora oggi sta dilaniando gli habitat naturali malgasci. Allo stesso tempo la bellezza cromatica della mantella arlecchino l'aveva resa un vero e proprio tesoro per le popolazioni nei dintorni di Antoetra, dove sopravvivevano i pochi nuclei riproduttivi superstiti, e dove la cattura di esemplari destinati al mercato degli animali da terrario (il *pet trade* internazionale) l'avevano portata sull'orlo dell'estinzione.

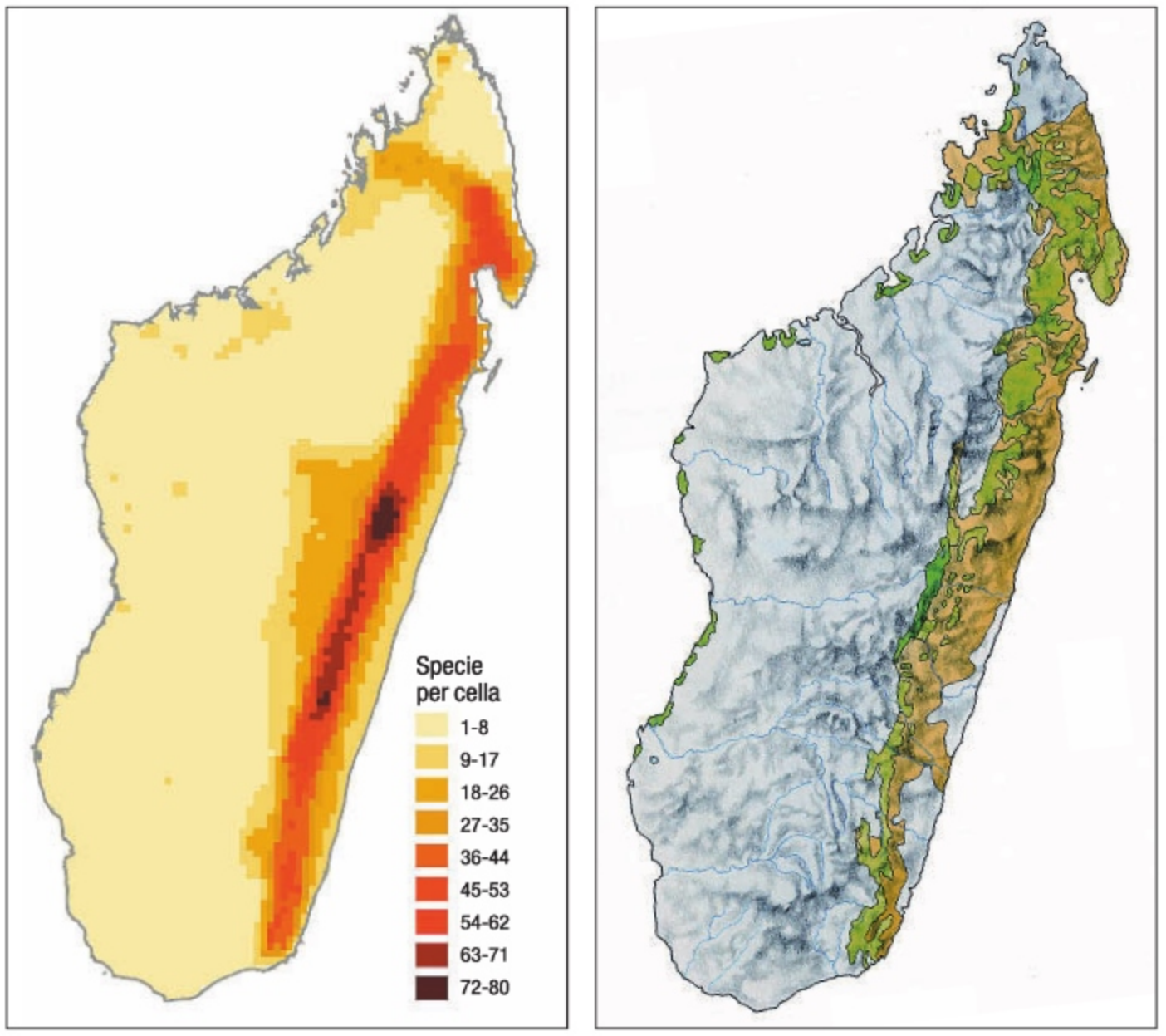
Con un'accurata ricerca fu possibile rintracciare le ultime popolazioni superstiti e capire che, per esempio, in alcune aree gli habitat naturali erano compromessi e irrimediabilmente scomparsi e le rane sopravvivevano solo lungo falesie umide d'alta quota. Grazie a un'azione tempestiva, il commercio venne interrotto e le popolazioni restanti furono salvaguardate. Inoltre, in seguito all'azione dell'Amphibian Specialist Group venne messa sotto protezione l'area che ospitava la più grande popolazione nota di questa specie,

Ritratti di famiglie malgasce

In queste immagini, esemplari di anfibi del Madagascar rappresentanti famiglie e sottofamiglie che si trovano sull'isola e le relativa categoria di conservazione, in una scala che va da «a minor preoccupazione» a «in pericolo critico», passando per «vulnerabile», «quasi minacciata» e «in pericolo».

1 *Heterixalus rutenbergi*, raganella arboricola di Rutenberg, (famiglia Hyperoliidae), diffusa sull'altopiano centrale, categorizzata come «quasi minacciata»; **2** *Dyscophus antongilii*, rana pomodoro (famiglia Microhylidae, sottofamiglia Dyscophinae), del nord-est del Madagascar, categorizzata come «quasi minacciata»; **3** *Scaphiophryne gottlebei*, rana arcobaleno (famiglia Microhylidae, sottofamiglia Scaphiophryninae), specie semifossoria e rupicola del Massiccio dell'Isalo, categorizzata come «in pericolo»; **4** *Anodonthyla vallani*, rana arboricola di Vallan (famiglia Microhylidae, sottofamiglia Cophylinae), specie arboricola della foresta di Ambohitantely, altopiano centrale, categorizzata come «in pericolo critico»; **5** *Mantella aurantiaca*, rana dorata, specie terricola presente nell'area di Andasibe-Moramanga (famiglia Mantellidae, sottofamiglia Mantellinae), categorizzata come «in pericolo critico»; **6** *Boophis williamsi*, rana di torrente di Williams (famiglia Mantellidae, sottofamiglia Boophinae), specie endemica del massiccio dell'Ankaratra, categorizzata come «in pericolo critico»; **7** *Aglyptodactylus securifer* (famiglia Mantellidae, sottofamiglia Laliostominae), rana diffusa nell'ovest del Madagascar, categorizzata come «a minor preoccupazione»; **8** *Tsingymantis antitra* (famiglia Mantellidae, sottofamiglia Mantellinae), rana del Massiccio dell'Ankarana, categorizzata come «vulnerabile»; **9** *Ptychadena mascareniensis*, rana delle Mascarene (famiglia Ptychadenidae), specie diffusa in tutto il Madagascar, categorizzata come «a minor preoccupazione».

Cortesia Franco Andreone (*1,2,3,4,5,6,7,9*); cortesia Frank Glaw (*9*); elaborazione grafica Serena C. Andreone e Giancarlo Prono



Quante e dove sono.
Nella mappa a sinistra, il Madagascar è stato diviso in celle di circa 11 chilometri di lato, e per ciascuna cella è indicata la densità di specie di anfibi; più scuri sono i colori, maggiore è la densità. Qui accanto una mappa dell'isola con i rilievi del terreno e l'orografia.

Come le rane.
Esemplari di *Boophis luteus* in accoppiamento. I maschi in media sono grandi tra i 35 e i 40 millimetri, mentre le femmine possono raggiungere i 50 millimetri. Questa specie attualmente non è a rischio.

ora divenuta una specie di santuario. Qui *M. cowanii* è oggetto di interesse e di salvaguardia proprio da parte delle popolazioni locali, in particolare dei comuni di Ivato e di Antoetra.

Un'azione analoga è in fase di realizzazione per le foreste residue e le rane del massiccio dell'Ankaratra, la seconda montagna per elevazione del Madagascar (giunge fino ai 2100 metri). Sull'Ankaratra sopravvivono pochi frammenti di foresta di alta quota, inframmezzate da foreste di conifere introdotte dai francesi, tra i colonizzatori più importanti dell'isola. A ottobre 2010 un incendio doloso ha distrutto buona parte delle foreste di conifere, risparmiando fortunatamente i frammenti di foreste originali, garantendo la sopravvivenza di due specie di rane che si trovano solo qui, la rana di torrente di Williams (*Boophis williamsi*) e la rana di torrente di Paulian (*Mantidactylus pauliani*). Grazie a un investimento della MacArthur Foundation e all'impegno dell'associazione locale VIF l'area dell'Ankaratra sta finalmente per essere protetta, sperando che nel frattempo non sia troppo tardi per la salvaguardia di queste specie vista la forte pressione di deforestazione che preme su quest'area.

Un'altra specie degna di attenzione è la rana pomodoro, *Dyscophus antongilii*. Caratterizzata da grande taglia e colorazione vivace rosso-arancione, sopravvive con un'importante popolazione all'interno della cittadina costiera di Maroantsetra, nel nord-est. Qui si riproduce nei piccoli stagni costruiti nelle proprietà private per l'allevamento di anatre e oche e nei canali di scolo. Una volta molto comune e ammirata dai turisti che visitavano l'adiacente Parco di Masoala, la rana pomodoro è oggi via di diminuzione, anche perché in città la falda freatica si sta abbassando sempre di più e la cementificazione sta eliminando i siti riproduttivi storici. Grazie a un contributo della fondazione tedesca BioPat è stato acquistato un terreno con alcuni siti riproduttivi. L'opportunità di avere all'interno della città una rana così vistosa e unica al mondo consentì anche di intraprendere numerose azioni di educazione. Pochi ragazzi malgasci erano a conoscenza della ricchezza di anfibi del loro paese: avere la rana pomodoro a portata di mano è stata un'occasione d'oro per far capire l'importanza di questi animali.

Tante altre sono state le azioni intraprese, fra cui lo studio della fauna di anfibi presenti nella Riserva naturale di Betampona, una delle ultime parcelle di foresta pluviale di bassa quota, poco distante da Toamasina, la città sulla costa est nota anche come Tamatave. In questo «francobollo» di foresta di 29 chilometri quadrati sono state trovate 80 specie di anfibi, un terzo delle quali è risultato composto da entità nuove per la scienza e, dunque, bisognose di descrizione. Sempre nei pressi di Toamasina, nel Parco di Ivoloina, è stato poi organizzato nel 2010 un incontro destinato ai ricercatori malgasci per promuovere il lnacio di un piano di monitoraggio nazionale contro il fungo chitridio, che può causare la chitridiomicosi. Questo fungo microscopico è la causa di una delle più pericolose malattie per gli anfibi. Identificata da alcuni anni, la chitridiomicosi è risultata una delle più importanti cause di declino degli anfibi a livello mondiale.

Da: *Species review of amphibian extinction risks in Madagascar: conclusions from the Global Amphibian Assessment*, Franco Andreone e altri, in «Conservation Biology», Vol. 19, n. 6, pp. 1790-1802, 2005 (*mappa in alto a sinistra*); cortesia Cristina Girard (*mappa in alto a destra*)

MINACCIA ASIATICA

Un rospo alieno in Madagascar

Una specie invasiva di rospo alloctono, ovvero che non fa parte della fauna nativa, è stata recentemente osservata nei dintorni di Toamasina, sulla costa orientale del Madagascar. Si tratta del rospo *Duttaphrynus melanostictus*, proveniente dal Sudest asiatico, e giunto in Madagascar probabilmente insieme a materiale da costruzione importato.

Questo rospo è un parente del tristemente noto rospo delle canne (*Rhinella marina*), il quale ha creato non pochi problemi ecologici in Australia e in altre parti del mondo. Anche *D. melanostictus* è una specie di grandi dimensioni (raggiunge i 15 centimetri) e molto feconda (sono almeno diverse decine di migliaia le uova deposte). Inoltre è tossico e si ciba praticamente di qualsiasi preda alla sua portata, adattandosi bene agli ambienti antropizzati. Per tutti questi motivi si teme che *D. melanostictus* possa provocare un disastro ecologico in Madagascar, dove le specie native si sono evolute in assenza delle sue difese tossiche naturali, e dove si pensa che la specie possa espandersi molto rapidamente.

Nonostante le notevoli difficoltà logistiche, le autorità malgasce e l'Amphibian Specialist Group hanno collaborato con tecnici esperti in specie invasive, con l'obiettivo di definire la distribuzione della specie e per raccogliere le informazioni necessarie a redigere un piano di eradicazione in grado di arginare questa nuova minaccia.

Cortesia Franco Andreone (Boophis luteus)

Fino a poco tempo fa questo fungo non sembrava presente in Madagascar, che era dunque una delle migliori aree al mondo dove sviluppare un adeguato programma di prevenzione. Grazie alla collaborazione di tante istituzioni che hanno operato sul campo e alla coordinazione internazionale garantita dall'Amphibian Specialist Group sono stati monitorati otto siti per tre anni. In questi siti sono stati campionati 50 esemplari di anfibi per due volte all'anno, che sono stati testati per questo patogeno. I dati hanno purtroppo confermato la presenza del chitridio, sebbene non sia ancora chiaro se si tratti di una forma patogena o meno.

Una sfida globale

Nel caso malaugurato di un *outbreak* di chitridiomicosi sarà necessario sviluppare un programma rapido di risposta, coordinato da uno specifico gruppo di lavoro facente capo al Ministero delle acque e delle foreste. Proprio di questo si è discusso a novembre 2014 nel corso del *workshop* ACSAM2 che si è svolto al centro ValBio, nel cuore della foresta di Ranomafana, uno dei luoghi più ricchi di anfibi in Madagascar. A questo incontro hanno partecipato oltre 70 ricercatori, che hanno portato il proprio contributo e la propria esperienza. Fra i risultati dell'incontro c'è stato l'impegno dei partecipanti e delle istituzioni a fare del Madagascar un esempio per la conservazione degli anfibi a livello mondiale, favorendo il mantenimento di un monitoraggio continuo per il chitridio e l'estensione del monitoraggio anche ad altre patologie emergenti (fra cui i letali *Ranavirus*), promuovendo l'educazione ambientale da parte dei ministeri competenti.

Per le specie in via di estinzione ci si adopererà per l'acquisizione di aree al cui interno promuovere azioni di conservazione, nonché all'applicazione di programmi di allevamento *ex situ*. Infatti, il trasferimento in cattività di alcune specie, in genere quelle più sensibili, è risultato fra le poche soluzioni operative nel caso di patogenicità del chitridio, o di scomparsa repentina dell'habitat. Purtroppo, sappiamo poco di come allevare in cattività gli anfibi malgasci: delle 300 specie descritte in Madagascar, e delle almeno altre 200 in fase di descrizione, sono solo poche decine quelle di cui si ha almeno un minimo di bagaglio conoscitivo riguardo all'allevamento in cattività.

La conservazione degli anfibi malgasci si è dimostrata un terreno di particolare importanza per sviluppare programmi integrati, che includano azioni sul campo e impegno della comunità scientifica internazionale. Ora che i nuovi traguardi per la salvaguardia degli anfibi del Madagascar sono stati identificati non resta che rimboccarci le maniche e convincere il mondo intero che questi animali meritano di essere conservati per le prossime generazioni.

Gli anfibi rappresentano una sfida a livello globale. Alterazione di habitat, inquinamento, commercio e malattie emergenti non sono che alcuni fra i pericoli che interessano questi vertebrati. La loro scomparsa è forse meno evidente di quella di grandi animali carismatici, ma non per questo è meno importante nell'equilibrio globale. Il piano d'azione che abbiamo lanciato in Madagascar è un banco di prova importante per la salvaguardia di una fauna assai ricca e allo stesso tempo fragile. ■

PER APPROFONDIRE

The Challenge of Conserving Amphibian Megadiversity in Madagascar. Andreone F., Randriamahazo H. e altri, in «PLoS Biology», Vol. 6, n. 5, e118, 6 maggio 2008.

Widespread presence of the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in wild amphibian communities in Madagascar. Bletz M.C., Andreone F., Crottini A. e altri, in «Scientific Reports», 2015.

Pre-emptive National Monitoring Plan for Detecting the Amphibian Chytrid Fungus in Madagascar. Weldon C., Crottini A., Andreone F. e altri, in «EcoHealth», Vol. 10, n. 3, pp 234-240, 21 settembre 2013.

TECNOLOGIA

Un mondo in movimento

Un nuovo microscopio rivela minuscoli cambiamenti in oggetti e persone che appaiono immobili

di Frédo Durand, William T. Freeman e Michael Rubinstein

William T. Freeman, professore di ingegneria elettronica e di informatica al Massachusetts Institute of Technology, studia le applicazioni dell'apprendimento automatico alla visione artificiale.

Michael Rubinstein è ricercatore a Google, dove lavora sulla visione artificiale. Ha lavorato al microscopio per il movimento quando era a Microsoft Research e MIT.

Frédo Durand, esperto di fotografia computazionale, è professore di ingegneria elettronica e di informatica al MIT.

Nel XIV e XV secolo i primi microscopi trasformarono lastre di vetro che apparivano perfettamente trasparenti in un universo popolato di batteri, cellule, pollini e cristalli intricati. Questi strumenti visionari furono i primi a mostrare alle persone che una goccia di sangue conteneva cellule. Da allora i microscopi hanno condotto gli scienziati all'interno di quelle cellule e ancora più in profondità, giù fino alle scale atomiche, rivelando l'esistenza di nuovi mondi invisibili.

Riteniamo che un nuovo tipo di microscopio stia per svelare un altro mondo affascinante, fatto di movimenti e variazioni di colore troppo piccole per essere viste a occhio nudo. Il sangue che pulsa rende il volto alternativamente più rosso e più chiaro, il vento può far oscillare in modo impercettibile le gru da costruzione, e il respiro di un bambino può essere troppo leggero per essere visto. Sono movimenti piccoli, ma hanno un'importanza enorme: possono rivelare informazioni sul nostro stato di salute o mostrare le vibrazioni di una macchina che si sta per rompere. Con i nostri collaboratori abbiamo sviluppato uno strumento, chiamato microscopio per il movimento, che unisce le potenzialità di una telecamera e quelle del calcolo specialistico, amplificando i piccoli movimenti in persone e oggetti che a occhio nudo sembrano fermi.

Calcolare i colori

Il nostro microscopio per il movimento è stato scoperto per caso. Lavoravamo a un progetto video per misurare minuscole variazioni di colore, troppo piccole per essere rilevate a occhio nudo. Nel 2010 gli scienziati del MIT Media Lab Rosalind W. Picard, Ming-Zher Poh e Daniel McDuff avevano mostrato come usare una telecamera per misurare il battito cardiaco attraverso l'osservazione di minuscole variazioni di colore causate dal flusso sanguigno verso il volto e da esso, a ritmo con i battiti del cuore. Hanno poi trasformato la loro tecnica in una *app* per *smartphone* chiamata Cardiio che misura la frequenza cardiaca. I loro calcoli, che richiedevano l'uso di tecniche avanzate di algebra lineare, ci sembravano difficili e più complessi del necessario, quindi abbiamo cercato un modo più semplice per raggiungere lo stesso scopo.

La sfida principale era il basso grado di variazione di colore causato dal flusso sanguigno in ogni *pixel* di un video che, durante un battito cardiaco, fluttua solo dello 0,2 per cento. Purtroppo i sensori delle videocamere non registrano valori esatti e contengono sempre rumore, in genere superiore allo 0,2 per cento. Questo rumore copre ampiamente le variazioni della sfumatura di rosso.

Alla ricerca per un algoritmo più semplice, insieme a Hao-Yu Wu, allora nostro studente, John Guttag, ricercatore al Massachusetts Institute of Technology, e a Eugene Shih, al tempo a Quanta Research Cambridge, abbiamo deciso di sostituire il numero che rappresentava il colore di ciascun pixel con una media eseguita su tutti i pixel vicini. Questo metodo ha ridotto notevolmente il rumore perché le fluttuazioni casuali di colore tendono a cancellarsi a vicenda in un gruppo di pixel abbastanza grande. Abbiamo inoltre applicato un filtro per eliminare le variazioni di colore che avvenivano su un periodo più lungo o più breve rispetto alla durata tipica di un battito cardiaco in un adulto a riposo.

Il nostro approccio semplificato è riuscito a convertire la variazione di colore dei pixel in un numero di battiti al minuto. Ma i cambiamenti dei pixel erano invisibili ai nostri occhi, e volevamo vedere che aspetto avessero. Con lo stesso algoritmo abbiamo calcolato la variazione delle sfumature di rosso nel tempo in ogni pixel di un video e le abbiamo amplificate di un fattore 100, osservando così il volto di un adulto diventare nettamente più rosso a ogni battito del suo cuore.

Questa tecnica funziona anche sui bambini. In un test su un gruppo di neonati, insieme a Donna Brezinski e Karen McAlmond, allora entrambe medici al Winchester Hospital in Massachusetts, abbiamo registrato un filmato con una normale videocamera digitale. Dopo l'amplificazione abbiamo visto che il battito cardiaco mostrato dal video coincideva con quello misurato grazie a un'apparecchiatura tradizionale attaccata alle dita dei bambini. Questo studio suggerisce la possibilità di misurare il battito cardiaco sen-

IN BREVE

Pur sembrando del tutto immobili, oggetti e persone si muovono in maniera spesso impercettibile a occhio nudo. I loro movimenti possono essere tanto leggeri, e importanti, quanto il respiro di un bambino.

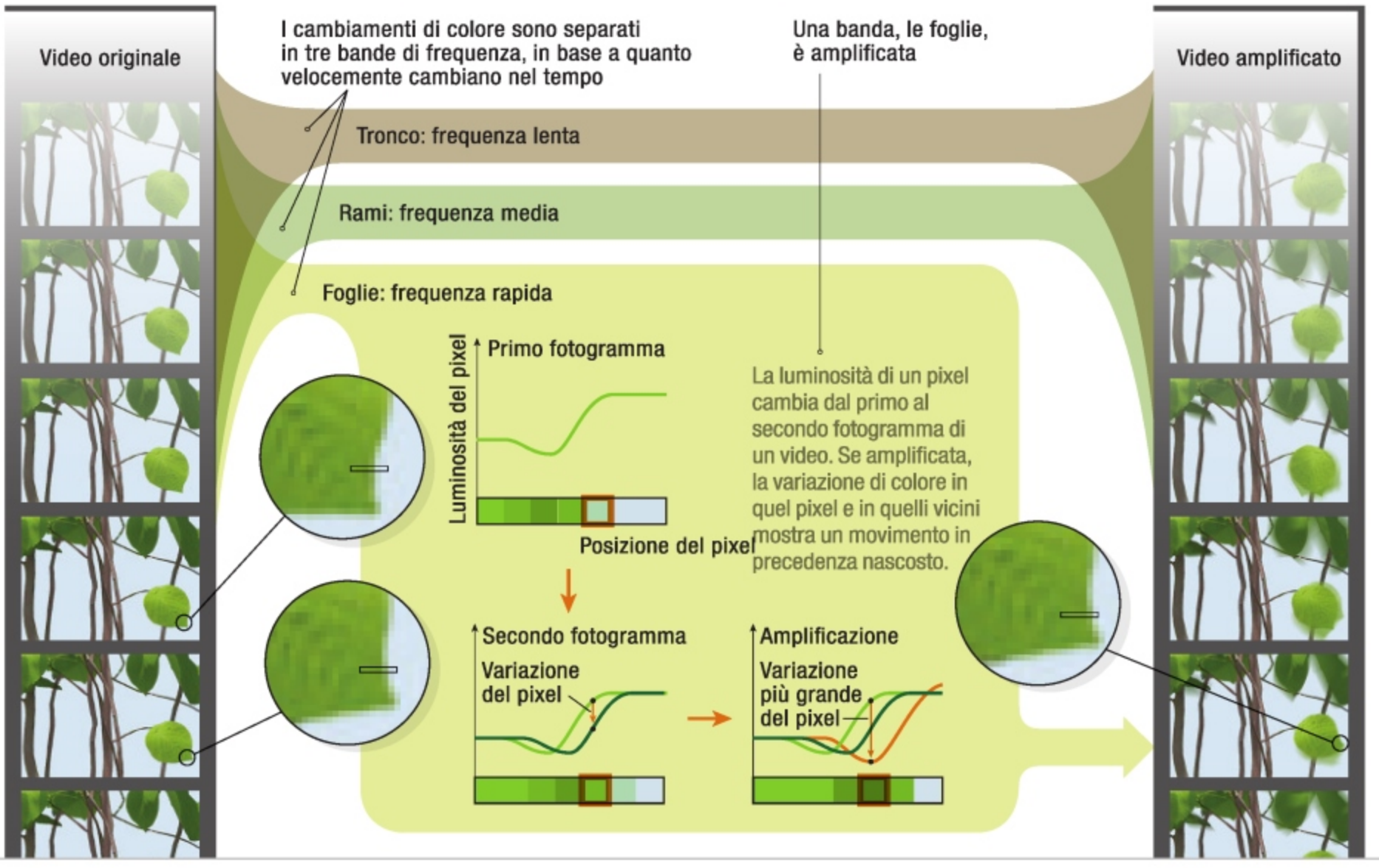
Amplificando istante dopo istante le variazioni di colore dei pixel in un video, un gruppo di ricercatori ha creato un microscopio per il movimento capace di rendere questi movimenti ben visibili.

Così amplificati, questi movimenti possono mostrare indicatori cruciali per la salute, come variazioni del battito cardiaco o del flusso sanguigno, o imminenti problemi di sicurezza come vibrazioni anomale in macchinari pesanti.

Pagine precedenti: illustrazione di Sean McCabe

Trasformare variazioni di colore in movimento

In un video, ogni pixel rappresenta un punto su un oggetto, come una foglia o un ramo su un albero. Al trascorrere del tempo, quando la foglia si sposta, anche di quantità infinitesime, il colore di quel pixel cambia perché la foglia si è mossa rispetto alla luce che la illumina. Un programma che amplifica la variazione di colore tra due frame successivi ingrandisce anche i piccoli movimenti della foglia, rendendoli evidenti a occhio nudo. I ricercatori amplificano determinate frequenze, per esempio quella dell'oscillazione della foglia, risaltando il moto della foglia rispetto al resto dell'albero.



za contatto, un'opzione importante nel caso di neonati prematuri, più fragili, che possono patire il contatto con uno strumento. Negli adulti, in futuro queste visualizzazioni potrebbero contribuire a rivelare anomalie nel flusso sanguigno potenzialmente pericolose per lo stato di salute, per esempio asimmetrie nella circolazione sanguigna tra il lato sinistro e quello destro del corpo.

Non così immobili

I nostri video ci hanno però posti di fronte a un enigma. Per semplificare l'elaborazione del colore abbiamo chiesto alle persone davanti alla videocamera di restare assolutamente ferme, e nei video originali le loro teste erano immobili. Quando abbiamo guardato i risultati amplificati abbiamo invece notato che le teste si muovevano. La nostra tecnica sembrava accentuare non solo i cambiamenti di colore, ma anche minuscoli movimenti.

In un lavoro precedente con altri colleghi, avevamo prodotto un video che amplificava piccoli movimenti grazie a programmi specializzati che calcolavano le direzioni del moto di ciascun pixel in ogni punto – i vettori – e le spostavano su nuove posizioni. Era un processo complicato, che si era rivelato suscettibile di errori. Siamo quindi rimasti sbalorditi da come il nuovo approccio ottenesse un effetto simile con un algoritmo più semplice, che non richiedeva il calcolo di complessi vettori di movimento.

Perché cambiamenti di colore più grandi amplificavano anche questi piccoli movimenti? Per scoprirlo abbiamo analizzato come il moto di un oggetto in un video si traduce in variazioni di colore locali. Immaginate per esempio una palla illuminata da destra, in modo che il suo lato destro sia luminoso e quello sinistro scuro. Se la palla attraversa lo schermo da sinistra verso destra, allo scorrere del tempo un pixel in una posizione fissa dello schermo diventa via via più scuro, perché raffigura un punto della palla sempre più a sinistra. L'entità della variazione dipende dalla velocità della palla e dal cosiddetto gradiente di colore, cioè da quanto netta è la variazione di luminosità tra il lato sinistro e quello destro della palla. In termini matematici possiamo dire che la variazione di colore di un pixel nel tempo è il prodotto della velocità dell'oggetto moltiplicata per questo gradiente di colore.

Naturalmente il nostro algoritmo non sa nulla di velocità o gradienti di colore. Eppure, dato che amplifica la variazione di colore in ogni singolo punto quando la palla si muove verso destra di una minuscola frazione di millimetro, amplifica anche l'esiguo movimento della palla rendendolo visibile. Anche i colori dei pixel che rappresentano punti specifici del petto di un bambino cambiano quando il bimbo respira, e incrementare notevolmente la variazione di colore rende più evidenti i leggeri movimenti del petto.

Illustrazione di Jen Christiansen

Uno sguardo fluido

La differenza tra i nostri primi lavori con i vettori di movimento e il nuovo approccio basato sulle variazioni di colore nel tempo è una questione di prospettiva. È la differenza tra procedere seguendo la corrente o restare fermi nel flusso d'acqua, ed è stato proprio un punto di vista diverso a semplificare i calcoli. Dell'idea dobbiamo ringraziare gli scienziati che cercano di modellizzare il moto dei fluidi riferendosi a due metodi contrapposti: quello lagrangiano e quello euleriano. Nella descrizione lagrangiana si segue una porzione di fluido che si muove nello spazio come potrebbe fare per esempio un osservatore che segue su una barca lo scorrere del fiume. Quando invece si segue l'approccio euleriano si sceglie una posizione nello spazio e si studia il fluido che scorre in quel punto, come farebbe un osservatore fermo su un ponte.

I nostri primi lavori seguivano la filosofia lagrangiana: come l'osservatore sulla barca, individuavamo i pixel nel video di ingresso, che poi spostavamo (come si sposta la barca) da un punto a un altro, a un altro ancora, secondo quanto previsto da vettori di movimento amplificati. Al contrario, il nuovo metodo considera solo le variazioni di colore in determinate posizioni, in modo simile a quanto fa l'osservatore sul ponte. Questo punto di vista locale funziona solo per i piccoli movimenti, ma semplifica l'analisi e la rende più solida. Con questa tecnica un computer può elaborare un video velocemente, mentre il lavoro precedente richiedeva grandi quantità di tempo e spesso conteneva errori.

Nel 2012 abbiamo pubblicato un articolo su questo nuovo metodo, chiamato ingrandimento video euleriano, in cui abbiamo mostrato come il flusso sanguigno cambia il volto. L'articolo include anche una serie di altri esempi, come i movimenti respiratori di un bambino che possono essere amplificati in modo da permettere ai genitori di controllare con un videosegnale che il bimbo si stia muovendo. Abbiamo anche registrato un video ad alta velocità di una chitarra con tutte e sei le corde in vibrazione, e selezionato una stretta banda di frequenze attorno ad alcune note, per esempio da 72 a 92 hertz per una corda *Mi* basso che vibra a 82 hertz. In questo moto è stato amplificata l'oscillazione di una singola corda, mentre le altre continuavano ad apparire immobili.

Abbiamo creato un sito web su cui tutti possono caricare video e sottoporli al processo di amplificazione dei movimenti. (Lo strumento *videoscope* è disponibile all'indirizzo https://videoscope.qrilab.com.) È stato emozionante vedere come è stato usato in modi a cui non avevamo pensato. Una persona ha mostrato i movimenti fetali al termine della gravidanza. Un'altra ha amplificato i movimenti respiratori di un porcellino d'india. Una studentessa d'arte ha mostrato le espressioni facciali e i movimenti impercettibili dei suoi amici che cercano di restare immobili.

Abbiamo anche imparato quali sono i limiti del metodo euleriano. Se un pixel del filmato in ingresso si scurisce molto tra due *frame* successivi, il computer incrementa questo cambiamento in modo eccessivo e produce un pixel nero, perdendo il controllo dell'amplificazione. Questo genere di problemi può causare la formazione di aloni scuri o chiari attorno ad aree in movimento. Anche le variazioni di colore del filmato di partenza dovute al rumore del sensore rappresentano una sfida perché, sebbene smussate mediando sui pixel adiacenti, il rumore è comunque amplificato.

Questo risultato ci ha spinto a sviluppare un nuovo algoritmo che conservi benefici e semplicità del metodo euleriano, ma che migliori il risultato quando i cambiamenti diventano più estremi.

Abbiamo capito che i limiti del nostro metodo originario nascevano dall'ipotizzare che le differenze di colore tra un pixel e i suoi vicini – a sinistra, a destra, sopra e sotto – fossero le stesse, cosa che non era sempre vera. In corrispondenza dei bordi, per esempio, la differenza di colore tra i pixel è più accentuata rispetto alle zone uniformi circostanti. Cercando quindi di amplificare contemporaneamente tutti i pixel della stessa quantità, ottenevamo distorsioni che non corrispondevano a movimenti reali.

Invece di amplificare di una stessa quantità, abbiamo rappresentato ogni segmento di un'immagine, ogni gruppo locale di pixel, con un'onda sinusoidale. Un'onda sinusoidale va su e giù, con pendii ripidi associati a variazioni rapide e regioni attorno a massimi e minimi che indicano invece una variazione lenta. Nel fermo immagine di un video i bordi somigliano alle parti che variano velocemente, e le regioni uniformi a quelle che variano lentamente. Possiamo rappresentare la variazione temporale di una zona dell'immagine mediante la variazione di una quantità nota come fase dell'onda. Passare da una fase che varia velocemente a una che varia lentamente ci aiuta a definire l'entità del movimento tra due frame successivi, senza generare artefatti come, per esempio, aloni. Abbiamo pubblicato questo risultato nel 2013.

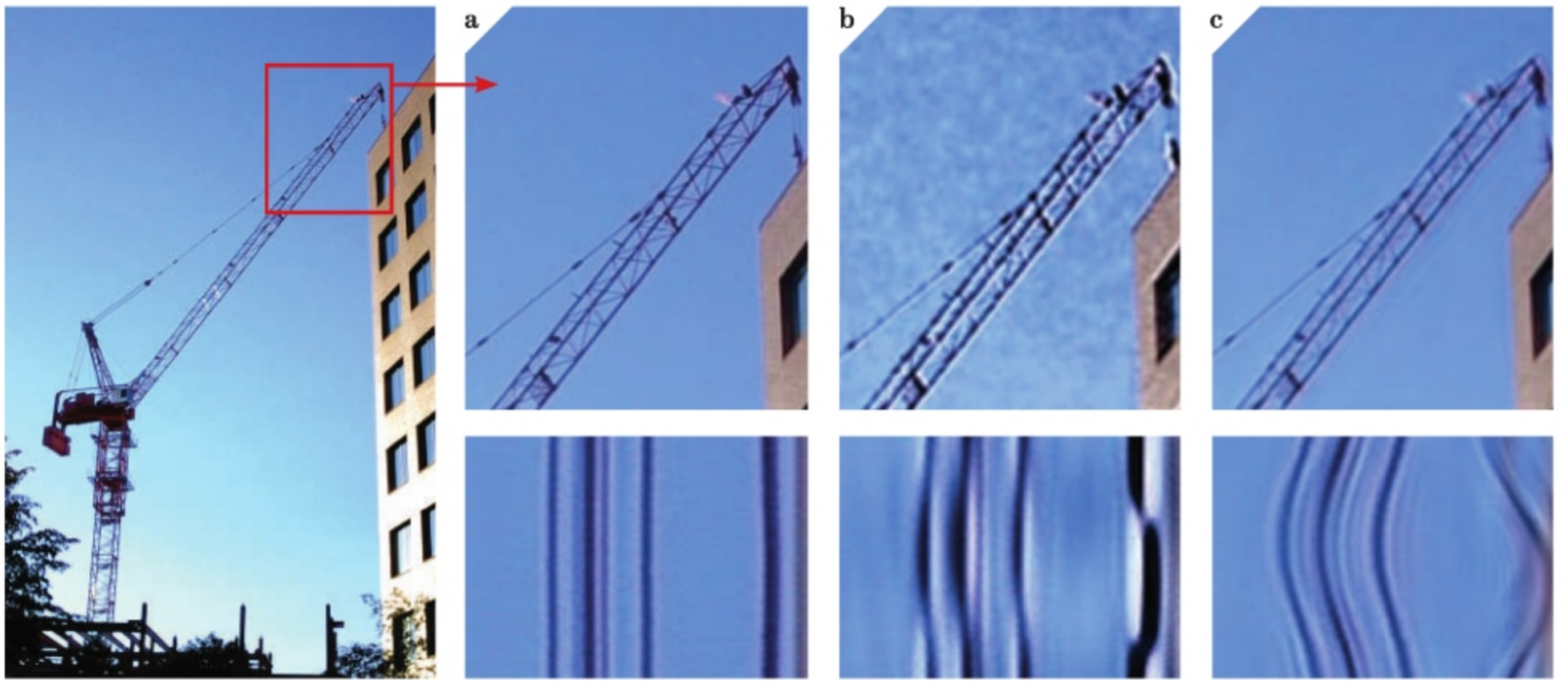
Piccoli movimenti, grandi conseguenze

Dopo aver sistemato questi problemi, abbiamo scoperto che potevamo elaborare video per osservare movimenti infinitesimali prima solo previsti da equazioni o simulazioni. Consideriamo un oggetto semplice, per esempio un tubo in PVC. Quando è colpito da un martello, o qualcosa di simile, l'involucro che forma il tubo si flette e rimbalza velocemente secondo schemi di oscillazioni con frequenze differenti. Gli schemi in cui questa vibrazione è rapida sono caratterizzati da movimenti raccolti e stretti, mentre quelli in cui l'oscillazione è più lenta sono più ampi, e forzano l'involucro ad assumere forme differenti. Questi schemi sono descritti in forma di equazioni, ma osservare dal vivo le deformazioni dei tubi era difficile, perché la loro forma cambia pochissimo.

Abbiamo registrato video ad alta velocità di un tubo nell'istante in cui è colpito. Nel video originale si notano appena piccole deviazioni dalla forma circolare. Justin Chen, studente di dottorato di Oral Buyukozturk al MIT che lavora a un progetto comune con scienziati alla Shell International E&P, ha elaborato il video con il nostro microscopio per il movimento, istruendo il computer a estrarre i tre modi di oscillazione a frequenza più bassa. (È lo stesso principio usato per visualizzare il battito cardiaco, selezionando solo le variazioni di pixel che corrispondevano al numero di battiti per minuto.) L'amplificazione di quelle frequenze ha permesso di mostrare i veri movimenti del tubo: nel video finale si vede la sezione trasversale flettersi verso l'interno e l'esterno.

Osservare un calice che si rompe sotto la pressione del suono vibrando ad alta frequenza è un altro grandioso esempio di questa tecnica di visualizzazione. Tutti abbiamo visto almeno una volta un film in cui una soprano intona una nota acuta e frantuma un bicchiere. Ma nessuno ha mai visto la deformazione del bicchiere, perché di solito la sua ampiezza è troppo piccola e il vetro vibra velocemente, con una frequenza tra 300 e 500 hertz. Abbiamo voluto mostrare in tempo reale il vetro flettersi avanti e indietro.

Per farlo, abbiamo usato un vecchio trucco ideato da Harold Edgerton, pioniere della fotografia in *stop-motion* e con luce stroboscopica, il quale aveva dimostrato che quando registriamo un movimento veloce e periodico con fotogrammi a esposizione breve, il movimento si estende su più periodi tra i fotogrammi e sembra molto più lento di quanto non sia realtà. Abbiamo usato una videocamera per catturare brevi raffiche di immagini del bicchie-



Soggetto in movimento: questa gru sembra immobile (*a*). L'amplificazione della variazione di colore del video mostra che ondeggia, ma i pixel appaiono frastagliati (*b*). Applicando un algoritmo per smussare la transizione tra i pixel, il movimento appare con chiarezza (*c*). Le immagini in basso mostrano un movimento della gru nel tempo.

re. Quando abbiamo amplificato il video attraverso il nostro microscopio per il movimento, l'effetto simil-strobo ci ha permesso di vedere il bicchiere che vibrava di fronte ai nostri occhi nel momento in cui l'abbiamo colpito con la giusta frequenza.

La carenza strutturale dei calici da vino può rovinare una cena, ma ci auguriamo che il nostro strumento possa rivelare problemi più seri come, per esempio, una grande macchina potenzialmente pericolosa che sta per rompersi. Il microscopio può catturare piccoli movimenti tipici di un guasto meccanico e renderli visibili. Abbiamo illustrato questo principio con un video ad alta velocità di un motore di automobile che girava al minimo. Come per i tubi in PVC, il video originale non mostrava alcun movimento delle parti meccaniche. Abbiamo poi applicato un filtro per evidenziare le vibrazioni a 22 hertz, escludendo le altre frequenze. Amplificando i cambiamenti portati dal filtro di un fattore 30 abbiamo messo in luce diverse parti del motore che oscillavano violentemente. Non era un comportamento anormale per un motore, ma dimostra che, oltre ad amplificare piccoli movimenti fino a renderli visibili, il nostro strumento permette di selezionare bande di frequenza a cui è più probabile che si presentino delle anomalie. Questi video possono evidenziare e aiutare a diagnosticare il cattivo funzionamento di parti meccaniche che ruotano o vibrano.

Abbiamo usato un approccio simile per mostrare una gru che oscilla nel vento. A chi la osserva, la gru appare rigida e immobile, eppure il microscopio per il movimento mostra che si flette. È normale che quelle gru oscillino leggermente, ma quando il movimento supera una certa ampiezza possono nascere problemi.

Possiamo anche invertire il processo. Usando il microscopio per il movimento per evidenziare le piccole vibrazioni di oggetti come sacchetti di patatine o foglie su una pianta, insieme a Wadhwa e Abe Davis del MIT e Gautham Mysore di Adobe Research abbiamo ricostruito il suono che può averne innescato la vibrazione. Se si applicasse questo metodo, per esempio, a una grande turbina industriale, oppure alle rampe in cemento di una stazione di autobus, avremmo una tecnica per identificare le fonti di vibrazione che potrebbero indebolire la struttura.

Il microscopio per il movimento può essere anche usato per rivelare problemi nel flusso di un fluido. Quando il flusso calmo di acqua o aria in due strati adiacenti passa a una miscelazione turbolenta, nel punto in cui i due strati si incontrano si può formare un'onda instabile. Se questa turbolenza si forma attorno a un veicolo, che sia un'auto, un aereo o un sottomarino, può influire sulla velocità del mezzo, quindi studiarla è importante. In un filmato normale le onde non si vedono, ma se usiamo il nostro video-microscopio per amplificare frequenze di movimento specifiche di un fattore 40, ecco che iniziano ad apparire segni d'instabilità.

Il programma è veloce e può elaborare quasi istantaneamente un filmato per rivelare fenomeni invisibili a occhio nudo, quindi potremmo avere quasi l'impressione di indossare occhiali magici che ci donano una sorta super-vista. Eppure nella nostra tecnica non c'è niente di magico. Non è il sogno di un autore di fumetti: è il risultato della ricerca di base nell'elaborazione video e nella rappresentazione matematica di immagini. Ha già mostrato agli scienziati fenomeni la cui esistenza era nota solo in via teorica, ma che prima non erano stati osservati dal vivo. Come i primi microscopi ottici secoli fa, potrebbe aiutarci a individuare minacce per la salute e la sicurezza. Per il momento il nostro microscopio per il movimento ci fa provare la meraviglia degli esploratori di fronte a un mondo nuovo di fenomeni che ci circondano da sempre, nascosto sotto gli occhi di tutti. ■

PER APPROFONDIRE

Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World. Wu H. e altri, in «Proceedings of ACM SIGGRAPH 21012», Vol. 31, n. 4, articolo n. 65, luglio 2012. Preprint disponibile all'indirizzo: **http://people.csail.mit.edu/mrub/vidmag.**

2012 International Science & Engineering Visualization Challenge. In «Science», Vol. 339, pp. 518-519, 1° febbraio 2013. **www.sciencemag.org/content/339/6119/518.full.**

Videoscope, Quanta Research Institute, caricate i vostri video ed elaborateli con il microscopio di movimento: **https://videoscope.qrilab.com.**

La visione nell'uomo e nella macchina. Poggio T., in «Le Scienze» n. 190, giugno 1984.

Cortesia Neal Wadhwa, Massachusetts Institute of Technology

ALIMENTAZIONE

Che gusto avrà il nostro vino?

Mentre i cambiamenti climatici alterano la composizione dell'uva,

di Kimberly A. Nicholas

IN BREVE

Il cambiamento climatico sta facendo crescere le temperature dell'aria in molte zone vinicole. Poiché la temperatura determina l'accumulo dei composti chimici nell'uva, se continuerà ad aumentare il vino di una regione potrebbe non avere più lo stesso gusto.

La temperatura più alta aumenta il contenuto di zucchero nell'uva, e quindi anche quello di alcool durante la fermentazione. Inoltre la temperatura influenza i composti, presenti in tracce, che creano gli aromi, essenziali per la nostra percezione del gusto.

I viticoltori stanno adottando diverse misure per cercare di adattarsi, dal cambio di orientamento dei filari alla ridistribuzione delle foglie per dare più ombra. Spostare un vigneto a nord, o perfino a una maggiore altitudine, è costoso e potrebbe non servire a conservare il gusto, a causa delle diverse condizioni di umidità e del terreno.

i viticoltori cercano di conservare l'aroma dei nostri vini preferiti

Nella vigna faceva caldo, ero coperta di polvere, sudore e succo appiccicoso dei grappoli che avevo raccolto per proseguire la mia ricerca sull'influenza di luce e temperatura sulle proprietà biochimiche dell'uva. Quando all'improvviso ho visto qualcosa che mi ha bloccato.

In un angolo di questo terreno di 26.000 metri quadrati a Carneros, nella celebre Sonoma Valley, in California, oltre molti bei filari con grappoli di Pinot nero si nascondevano alcune varietà di vite estranee. Durante i miei corsi universitari in viticoltura avevo studiato l'arte arcana dell'ampelografia – l'identificazione dei vitigni in base alla forma di foglie e grappoli – e quindi potevo indovinare che cosa fossero: le varietà rosse Cabernet Franc, Petit Verdot, Syrah e Malbec, più un bianco, il Sauvignon.

Quando nella vicina Napa ho rivisto Ned Hill, un vecchio compagno di scuola che gestisce alcune delle migliori vigne della zona, tra cui questa, gli ho chiesto di quegli strani vitigni. «Sto facendo un esperimento», ha risposto. «Qui fa già abbastanza caldo per coltivare il Pinot. Ora il prezzo è buono, quindi non voglio cambiare, ma presto faremmo meglio a coltivare qualcos'altro, quindi sto provando qualche varietà di climi più caldi».

Un Cabernet a Carneros? Sembrava un'eresia. La zona di Napa è famosa per il suo Cabernet, ma dove le valli di Sonoma e Napa si allargano e si uniscono, arrivando alla baia di San Francisco, il territorio è più fresco e adatto al Pinot. In questa zona le giornate miti, le notti fresche, le brezze di mare rinfrescanti e i terreni argillosi producono Pinot con l'aroma di fragole rosse fresche e spezie come cardamomo e cannella. Se però le temperature continuano a salire il vino ricavato da quell'uva Pinot non sarà più lo stesso. Anzi, i coltivatori potrebbero essere costretti a passare al Syrah o perfino al Cabernet, ma rischiano di porre fine alla tradizione di Carneros, magari con un calo delle vendite. Forse il mio amico potrebbe spostare la sua attività a nord, alla ricerca di un clima più fresco, ma altrove l'uva Pinot sarebbe influenzata dal terreno, dall'umidità e dalle precipitazioni di quel luogo, e non avrebbe il gusto del Pinot di Carneros. Oppure il mio amico potrebbe usare un approccio d'emergenza e cercare di adattare le sue tecniche di coltivazione per conservare quel gusto unico: un compito arduo.

Il cambiamento climatico sta cominciando a influenzare il gusto dei vini del mondo, l'esperienza dei vostri rossi e bianchi preferiti che conoscete e avete imparato ad apprezzare. Di conseguenza, coltivatori e vinificatori stanno cominciando a prendere varie decisioni, difficili e stimolanti, per trovare il modo di reagire. Saranno la velocità del cambiamento climatico e quella dell'innovazione a determinare se il loro adattamento permetterà a un Pinot di Carneros o a un Borgogna francese di conservare il proprio gusto tipico, o se invece spariranno zone vinicole dalla lunga tradizione e ne emergeranno di nuove.

Un buon vino nasce nella vigna

Quando si tratta di alimenti base come frumento, mais e riso, gli scienziati si preoccupano per gli effetti dell'aumento della temperatura sulla resa dei terreni. Ma con l'uva le temperature mettono a rischio la qualità, più che la quantità.

In effetti nelle zone calde alcuni vigneti cercano grandi volumi e bassi costi. Per esempio a Fresno, nella Central Valley della California, i coltivatori puntano a una resa intorno a 27 tonnellate l'ettaro. Nel 2013 hanno venduto questa uva a un prezzo medio di circa 308 dollari la tonnellata, e il vino ricavato in genere finisce in bottiglie che costano meno di 7 dollari. Sulle strisce di terra più fresche che lambiscono la costa della California si pratica invece una versione di viticoltura più romantica. Circa 300 chilometri a nord di Fresno, nella Napa Valley, addetti esperti raccolgono l'uva a mano, tastando ogni pianta anche una dozzina di volte nel corso di una stagione. Riducono deliberatamente la resa potando le viti in inverno, in modo che ogni germoglio produca solo pochi grappoli, che d'estate vengono sottoposti a un'ulteriore selezione. L'obiettivo è compensare in qualità la perdita di quantità, dato che la pianta concentra le sue risorse, donando a quei pochi grappoli un gusto e un aroma più profondi e complessi. L'obiettivo è produrre circa 9 tonnellate l'ettaro, a un prezzo che nel 2013 ha raggiunto circa 3337 dollari la tonnellata. A questo aumento di dieci volte rispetto al prezzo dell'uva di Fresno ha contribuito una gestione attenta dei vigneti, ma gran parte del valore aggiunto è legato al clima: un effetto notevole grazie a una differenza apparentemente leggera della temperatura media annuale, più bassa di soli 2,5 gradi. Come mi ha detto un coltivatore, «neanche un genio riuscirebbe a produrre un buon Pinot nero a Fresno. Fa troppo caldo».

Se fa «troppo caldo» è un problema, perché tutte le piante sono regolate dalla temperatura, e le viti in modo particolare. L'ambiente in cui si coltiva l'uva influenza il vino a tal punto che per definirlo in francese esiste una parola specifica: *terroir*. Il vino, come il caffè e altri prodotti tipici di una certa zona geografica, rispecchia il suo luogo di origine. La vite produce lo zucchero tramite la fotosintesi, quindi modifica e ricombina questo ingrediente iniziale per produrre innumerevoli composti che, arrivati nel bicchiere, possono profumare di lampone o erba appena tagliata. La temperatura, l'umidità, la luce e il terreno influenzano il modo in cui la pian-

Kimberly A. Nicholas è professore associato di scienza della sostenibilità all'Università di Lund, in Svezia, e consulente di viticoltori e vinificatori di tutto il mondo.

I viticoltori possono cercare di contrastare le temperature più alte aumentando la copertura di foglie o riorientando i filari.

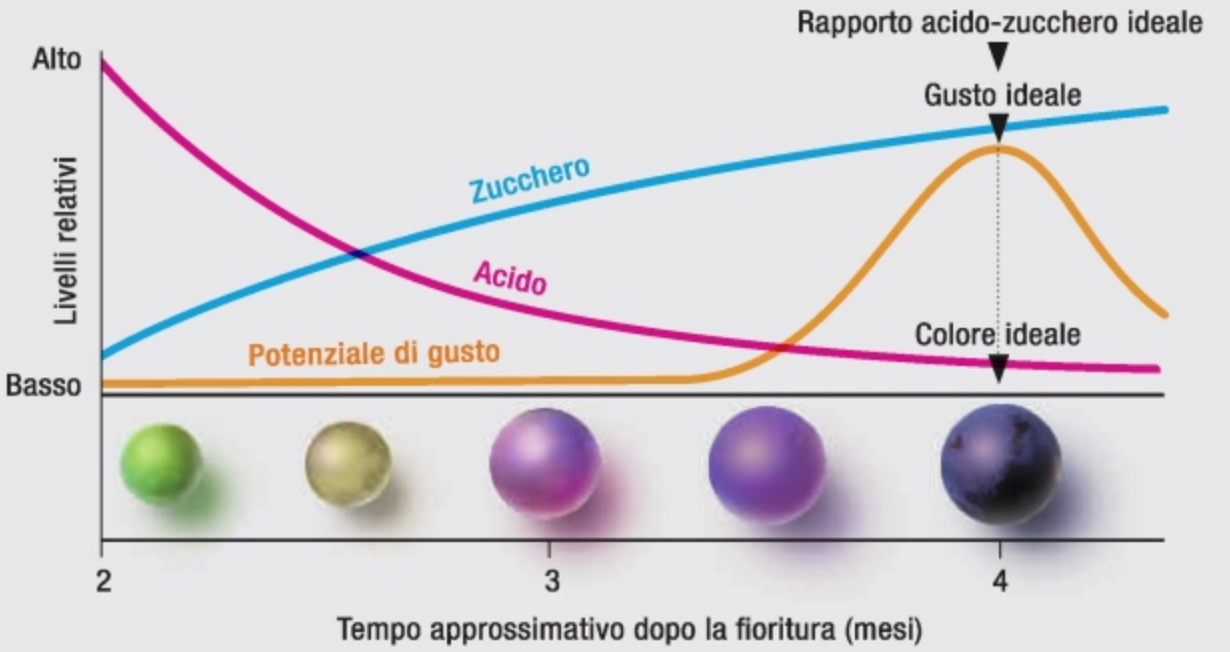
Pagine precedenti: Getty Images (*macchie di vino*); Travis Rathbone/Trunk Archive (*bicchiere*); questa pagina: per gentile concessione di Robert Sinskey Vineyards

Quando raccogliere l'uva diventerà più difficile

L'uva da vino impiega circa tre-quattro mesi per maturare, ma non è facile decidere quando vendemmiarla. Man mano che l'uva matura (*in alto*), il suo livello di zucchero aumenta e quello di acido diminuisce (*curve in blu e in rosso*). Il rapporto ideale per un buon vino si raggiunge intorno ai quattro mesi. Anche il gusto complessivo (*curva in arancione*), influenzato da altri composti, arriva al massimo intorno a quel periodo, e determina un breve intervallo di tempo ideale per la vendemmia.

Questa decisione si farà più difficile. Con il riscaldamento dell'atmosfera (*in basso*), il rapporto ottimale tra acidi e zucchero si raggiunge prima nella stagione di crescita. Anche il momento ideale per il gusto può essere anticipato, ma in misura minore, e resta così un divario di tempo tra il picco dell'equilibrio e quello del gusto, il che complica la ricerca della combinazione migliore. Inoltre l'uva potrebbe maturare troppo velocemente rispetto al potenziale accumulo di gusto (nella curva arancione il picco è più basso) o al raggiungimento del colore ideale.

Maturazione ottimale di un'uva



La stessa uva in condizioni più calde

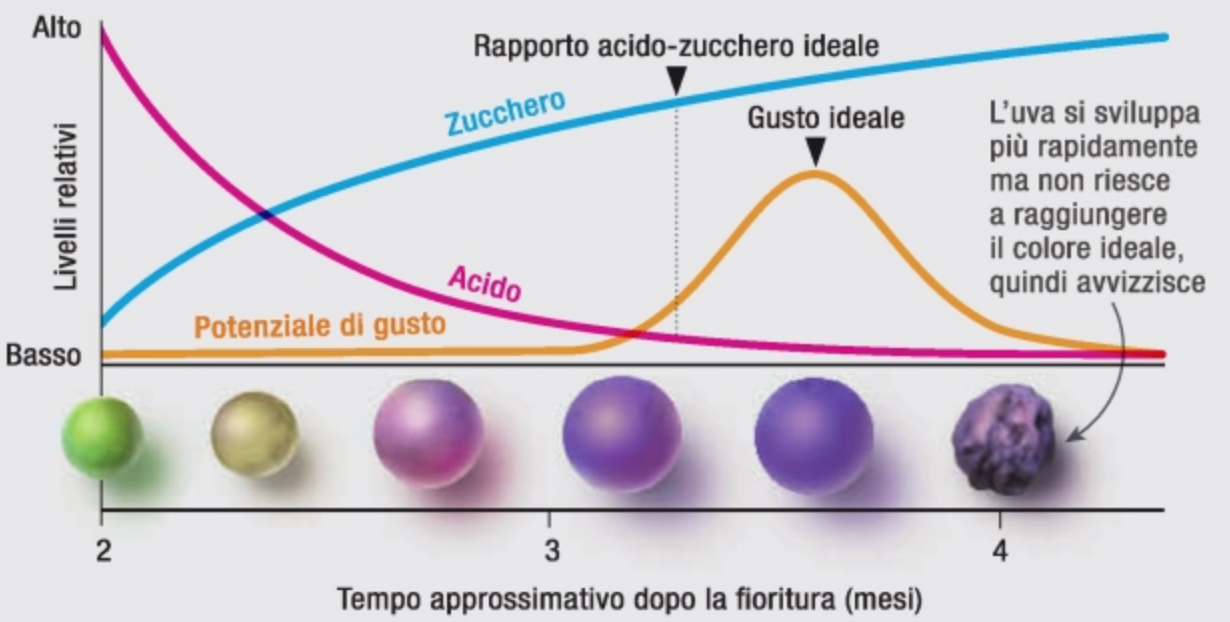


Grafico di Jen Christiansen

ta dirige questa sinfonia. Il vino è costituito per oltre l'80 per cento da acqua e, in genere, per il 12-15 per cento da alcool, quindi tutto il resto ammonta solo a circa il 5 per cento. Questa minima parte di altri elementi crea il gusto unico del vino di una certa località, che i cambiamenti climatici stanno mettendo in pericolo.

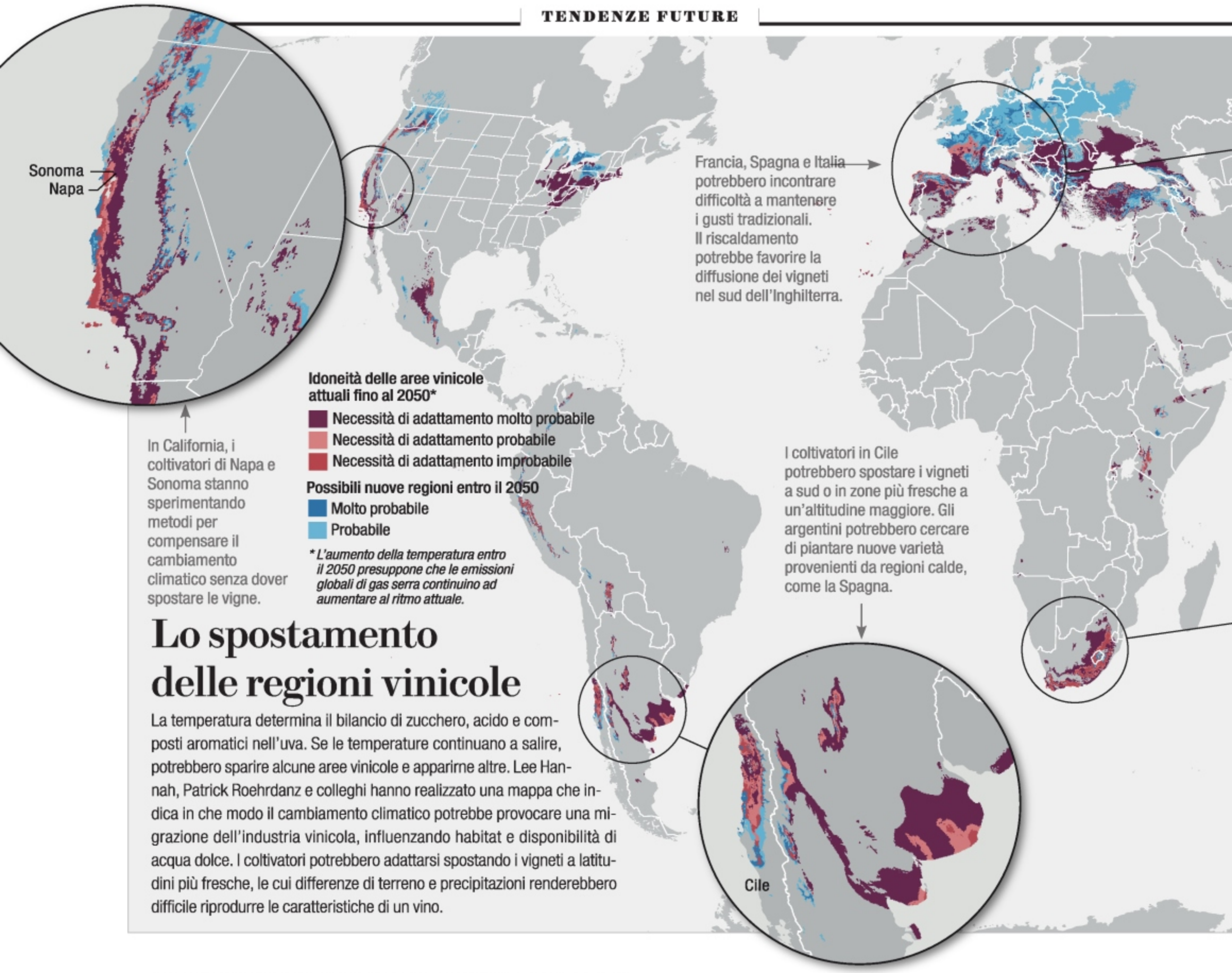
Anche se la produzione del vino richiede una notevole abilità, quasi tutti i vinificatori che ho intervistato ammettono senza problemi che gran parte della qualità potenziale di un vino è già decisa quando si consegna l'uva all'azienda vinicola. Alcuni dei gusti potenziali dipendono dal processo di vinificazione, per esempio dai lieviti usati nella fermentazione o dall'invecchiamento in botti di quercia, ma – come mi ha detto un famoso vinificatore – «se nella vigna si fa tutto correttamente, a me basta non combinare disastri». Un buon vino nasce nella vigna, non in cantina.

Clima diverso, gusto diverso

Il clima ha una forte influenza sulla crescita dell'uva. Gli enologi ne considerano tre livelli: il macroclima di una regione, per esempio Carneros o Borgogna, il mesoclima di un vigneto e il microclima di un grappolo d'uva in una copertura di foglie.

Il macroclima è influenzato da ampie condizioni geografiche da cui dipendono la stagione di crescita e l'andamento di temperature e precipitazioni. È soprattutto la temperatura a determinare quale varietà di uva, tra le migliaia esistenti, sia la più adatta per essere coltivata in un certo luogo: da quelle bianche croccanti, ideali per la breve stagione di crescita e le temperature fresche della Germania, a quelle rosso vivo, in grado di mantenere il proprio gusto nell'estate lunga, calda e secca della Spagna. La temperatura determina quando le viti si risvegliano in primavera dopo la quiescenza invernale, e stimola il processo di crescita e maturazione. Con l'aumento delle temperature a livello globale, regioni come il sud dell'Inghilterra stanno diventando più adatte alla viticoltura, mentre zone vinicole calde, per esempio in Australia, sono in difficoltà per temperature elevate e siccità frequenti che contribuiscono a rese irregolari, tenori alcolici troppo alti e gusti sbilanciati.

I cambiamenti delle precipitazioni in una regione, in termini di quantità e distribuzione nel tempo, possono alterare la qualità dell'uva in vari modi, e un'umidità eccessiva può favorire il marciume da funghi. La siccità può provocare un forte stress a una pianta. Molte zone vinicole del continente americano, tra cui la California, sono ampiamente irrigate, ma le ricerche che ho condotto in un team guidato dai miei colleghi della Stanford University hanno dimostrato che anche nelle regioni irrigate le precipitazioni naturali influiscono sulla resa.



Lo spostamento delle regioni vinicole

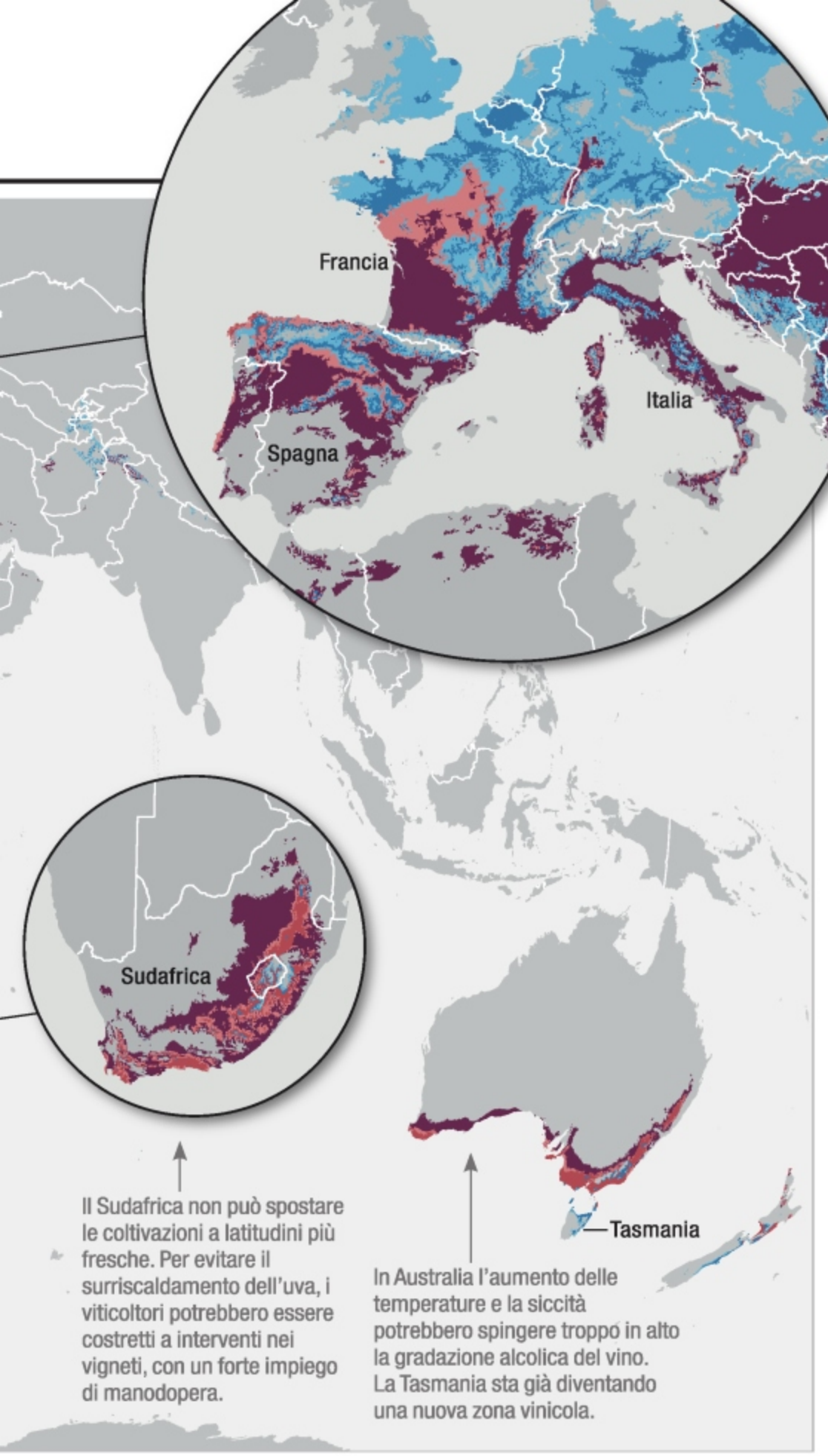
La temperatura determina il bilancio di zucchero, acido e composti aromatici nell'uva. Se le temperature continuano a salire, potrebbero sparire alcune aree vinicole e apparirne altre. Lee Hannah, Patrick Roehrdanz e colleghi hanno realizzato una mappa che indica in che modo il cambiamento climatico potrebbe provocare una migrazione dell'industria vinicola, influenzando habitat e disponibilità di acqua dolce. I coltivatori potrebbero adattarsi spostando i vigneti a latitudini più fresche, le cui differenze di terreno e precipitazioni renderebbero difficile riprodurre le caratteristiche di un vino.

Il modo in cui il mesoclima di un vigneto influenza il gusto nel bicchiere è meno evidente, ma il punto di partenza è l'equilibrio tra zucchero e acido nell'uva, i componenti che formano la base del gusto di un vino. La frutta accumula zucchero durante la maturazione, che dipende direttamente dalla temperatura. L'uva da vino matura ha un contenuto di zucchero molto alto: circa un quarto del peso, il doppio rispetto a una pesca dolce e succosa. Il calore fa crescere lo zucchero a un ritmo calcolabile: in genere uno o due punti percentuali per ogni settimana di maturazione. Lo zucchero si trasforma in alcool durante la fermentazione, quindi l'uva più dolce dà un vino con un maggiore tenore alcolico. Nel corso degli ultimi decenni l'aumento delle temperature ha determinato una tendenza globale verso vini dalla gradazione più alta. Spesso un maggiore contenuto di alcool è percepito come «caldo» e più amaro, e può sovrastare o alterare la percezione di gusti più sfumati.

Allo zucchero fanno da contraltare gli acidi. Presenti in grandi quantità nell'uva acerba, durante la maturazione si decompongono parzialmente e danno al vino un gusto intenso e rinfrescante. Nelle regioni vinicole più fresche si coltivano varietà che riescono a maturare rapidamente nella breve stagione di crescita, ma hanno comunque un livello di acidi gradevole, non troppo alto. Con l'aumento delle temperature i vini provenienti da climi freschi, come il Riesling tedesco, potrebbero perdere il loro carattere rinfrescante, dato che con il calore viene meno il gusto pungente degli acidi.

I vinificatori studiano lo zucchero e gli acidi da tempo, ma negli ultimi anni hanno cominciato a capire il ruolo di altri elementi del vino, presenti in quantità minori ma decisivi per l'esperienza gustativa. I composti fenolici, per esempio, sono importanti per il colore del vino: prima di berlo lo vediamo nel bicchiere, dove il colore influisce inevitabilmente sulla nostra percezione complessiva. In un test, un vino bianco è stato colorato di rosso, e per descriverne il gusto perfino dei sommelier esperti gli attribuivano le caratteristiche del vino rosso. Il succo delle uve classiche (del Vecchio Continente) non è pigmentato: il colore dei vini deriva da composti fenolici presenti nelle bucce, le antocianine. Questi composti sono ampiamente diffusi in natura: sono ciò che rende blua-

Mappa di Xnr Productions; fonte: *Climate Change, Wine, and Conservation*, di Hannah L. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 110, n. 17, 23 aprile 2013 (studio di un team guidato da Lee Hannah presso Conservation International e Patrick Roehrdanz presso l'U.C.S.B.); dati forniti da P. Roehrdanz



stri i mirtilli e viola le melanzane. Quando dopo la vendemmia l'uva viene pigiata, le varietà rosse sono lasciate a contatto con le bucce per settimane durante la fermentazione, in modo da trasferire il colore al succo. Le uve bianche hanno già di per sé una minore concentrazione di composti fenolici, e in genere vengono separate subito dalle bucce.

La presenza nell'uva di composti fenolici dipende dall'esposizione al Sole, ma in genere nei vini provenienti da zone più calde il colore desiderabile è meno presente. Le ricerche suggeriscono però che non entrino in gioco solo i cambiamenti della temperatura media: un aumento oltre certi limiti può avere conseguenze non lineari che portano alla diminuzione delle antocianine.

Il microclima del vigneto influisce anche sui tannini, che danno al vino una certa consistenza (per esempio «corposo» o «morbido»). I tannini sono un altro composto fenolico, e sono talmente sgradevoli che proteggono la frutta non ancora matura, impedendo ad animali e parassiti di mangiarla. In bocca i tannini si combinano con le proteine della saliva, asciugando la lingua e le gengive, e questa sensazione influenza il modo di percepire il gusto del vino. Un buon equilibrio dei tannini aiuta l'abbinamento tra vino e cibo, dato che ripuliscono fisicamente il palato, togliendo il grasso dalle papille gustative e permettendo di assaporare appieno ogni boccone. Un eccesso di calore o di luce può ridurre i tannini e potenzialmente rendere i vini meno equilibrati.

Maturo per l'olfatto

Siamo quindi arrivati ai componenti in tracce a cui si deve gran parte del carattere unico di un vino. Sono un fattore essenziale, soprattutto per l'olfatto. Quando assaggiamo il vino, spesso per prima cosa lo facciamo girare e annusiamo l'aroma. La rotazione volatilizza i composti del vino, che quindi vengono a contatto con i recettori del naso, inviando segnali al cervello che li interpreta come un gusto: è l'integrazione di molti messaggi sensoriali. Gran parte di ciò che comunemente percepiamo come gusto deriva dal nostro straordinario senso dell'olfatto. È il motivo per cui ciò che mangiamo sembra insapore quando siamo raffreddati: i composti aromatici non riescono a raggiungere il naso intasato dall'interno, cioè dal retro della bocca. Provate a mangiare una mela sbucciata e una patata cruda con il naso tappato: è sorprendente quanto sia difficile distinguerle. Più che degustare il vino, bisognerebbe dire che lo annusiamo, anche se l'espressione è meno affascinante.

Enologi e ricercatori stanno ancora perfezionando la conoscenza dei composti in tracce alla base di gusto e aroma, che si possono formare in svariati modi. In genere quelli presenti nell'uva si accumulano nelle ultime fasi della maturazione, e sappiamo che in questo periodo il loro sviluppo è influenzato dalle temperature. Questa cosiddetta maturazione del gusto potrebbe avvenire a un ritmo diverso rispetto a quella prevedibile dello zucchero, che tradizionalmente determina le decisioni sulla vendemmia. Invece di raccogliere l'uva quando raggiunge un certo tenore zuccherino, molti vinificatori decidono quando vendemmiare assaggiandola nella vigna, alla ricerca di gusti che a loro giudizio renderanno buono il vino. In genere il gusto evolve gradualmente: da quello di frutta e verdura verde ai frutti rossi come i lamponi, quindi neri come le more e, infine, con note di confettura come l'uva passa.

In alcune regioni questa strategia ha portato a una tendenza verso un maggiore tempo di maturazione, cioè a lasciare la frutta sulla pianta più a lungo per fare maturare meglio il gusto. Ad alcuni coltivatori questo metodo non piace perché l'uva perde acqua, il che può ridurre il peso e quindi il guadagno. Il maggiore tempo di maturazione aumenta inoltre il livello di zucchero nell'uva, e questo potrebbe costringere ad aggiungere in seguito acqua al succo, per ottenere alla fine il giusto tenore alcolico.

I ricercatori stanno cercando di capire meglio come gli oltre 1000 composti aromatici del vino influenzino la percezione del gusto. È un aspetto difficile da prevedere, perché alcuni composti sono presenti in concentrazioni molto basse e la sensibilità umana nei loro confronti può variare di centinaia o migliaia di volte da una persona a un'altra. Al profumo di fragola, per esempio, possono contribuire oltre 200 composti, e ciò che fa scattare il segnale «fragola» potrebbe essere diverso per voi e per me. (Quindi non preoccupatevi se, quando assaggiate i vini, non date la risposta «giusta»: non esiste.)

A volte è un solo composto «di impatto» a costituire la base di un odore caratteristico, e capirne gli effetti sui nostri sensi può aiutare i coltivatori a perfezionare il prodotto. Negli anni ottanta, seguendo un'intuizione, Hildegarde Heymann, dell'Università

della California a Davis, ha scoperto che un composto chiamato metossipirazina, responsabile dello sgradevole aroma di peperone nel Cabernet Sauvignon, veniva distrutto dalla luce. I coltivatori hanno cambiato la disposizione dei tralci per ridurre l'ombra sui frutti, e il Cabernet californiano è migliorato molto. Indagini più recenti, condotte da Claudia Wood e colleghi in Australia, Cile e Germania, hanno individuato in un unico composto, il rotundone, la fonte del piacevole aroma di pepe nero nel Syrah, e altre ricerche indicano che l'accumulo di rotundone sia probabilmente maggiore nei luoghi e negli anni più freschi.

I coltivatori reagiscono

La comprensione di tutti i fattori che influenzano il gusto di un vino aiuta i viticoltori a valutare le possibili soluzioni per adattarsi al cambiamento climatico. L'intervento più drastico sarebbe uno spostamento da una zona all'altra, per esempio dalla California all'Oregon, oppure – soluzione meno estrema – all'interno di una regione, magari da valli calde a versanti di colline più freschi. Alcuni studi hanno valutato queste possibilità, ma si basano principalmente sulle previsioni di cambiamenti della temperatura, senza considerare altri importanti fattori ambientali. Ci sono stati articoli di giornale che, in base a queste limitate analisi, sono arrivati perfino a definire a rischio determinate regioni vinicole, prevedendo un calo di qualità e quantità dell'uva.

Nella pratica, l'idea semplicistica di spostarsi è ostacolata da vari fattori. Per un vino di alta qualità è necessario un terreno adeguato, che offra le sostanze nutritive e l'approvvigionamento idrico ideali, e non è detto che esista in una nuova regione. Anzi, può anche darsi che non sia nemmeno disponibile un terreno adatto e non ancora sviluppato. Sradicare un'intera industria e le sue infrastrutture è difficile e costoso: i vigneti nuovi impiegano cinque o sei anni a diventare pienamente produttivi e possono passarne anche venti prima che comincino a dare un profitto. Molti viticoltori inoltre hanno un forte rapporto con il territorio, dove coltivano da generazioni, e non vorrebbero lasciarlo. E anche i consumatori possono sentirsi molto legati a un certo luogo. Le nuove regioni che stanno diventando abbastanza calde per poter coltivare il vino avranno bisogno di tempo per acquisire le competenze per risolvere le esigenze specifiche necessarie a realizzare siti produttivi, affrontare parassiti e malattie e sviluppare lo stile e l'identità locali apprezzati dai clienti.

Che dire dell'ipotesi di selezionare o coltivare altri vitigni, adatti alle nuove condizioni climatiche? Praticamente tutte le uve usate per produrre ciò che in genere si definisce vino provengono da una sola specie di uva, *Vitis vinifera*, che però si presenta in migliaia di ceppi, detti varietà. I coltivatori hanno selezionato le varietà in base alle rispettive caratteristiche, adatte a un determinato ambiente, come nel caso delle razze dei cani, selezionate per tirare slitte in Alaska o per entrare nella borsetta di Paris Hilton.

Ma limitarsi a prendere un'uva che ha delle buone caratteristiche in un luogo e coltivarla altrove spesso non determina lo stesso gusto delizioso. Per esempio i cloni (parti geneticamente identiche tagliate da una singola pianta madre) di Pinot nero provenienti da Digione, in Francia, sono stati selezionati per maturare rapidamente e produrre nel clima fresco della Borgogna vini di alta qualità, che si sono guadagnati un'ottima fama. Ora sono stati ampiamente diffusi in California, più calda, ma a causa della maturazione più veloce in un ambiente diverso non sempre si ottiene lo stesso gusto pregiato. Piantare varietà di zone calde, come la Spagna, in altri luoghi che lo stanno diventando potrebbe anche dare vini gustosi, ma questo processo per tentativi può durare anni.

Coltivare nuove varietà in grado di resistere meglio all'aumento delle temperature è una possibilità che si sta esaminando con alcuni prodotti alimentari di base, ma per le uve da vino ha un potenziale minore. La coltivazione può richiedere un decennio o più, ma le difficoltà sono soprattutto di tipo culturale. La legge francese sulla denominazione, per esempio, specifica che in certe zone si possono coltivare solo certe varietà per ottenere il marchio protetto della regione, per esempio Bordeaux (anche se il Marselan, una varietà selezionata in tempi più recenti con l'incrocio tra Cabernet Sauvignon e Grenache, è stato riconosciuto legalmente negli anni novanta con la denominazione Côtes du Rhône). A livello mondiale, spesso i consumatori sono radicati nella preferenza per certe varietà, e una nuova potrebbe avere molte difficoltà ad affermarsi sul mercato.

All'interno di un vigneto già esistente, i coltivatori possono tentare di contrastare il cambiamento climatico intervenendo sulla gestione delle piante. Per esempio possono cambiare la direzione dei filari, o il modo in cui le piante vengono indirizzate durante la crescita e sostenute dai tralicci, per avere più ombra man mano che le temperature aumentano. Oppure possono eseguire innesti tra la varietà già esistente e una nuova, in grado di sopportare meglio il caldo. In genere però queste importanti decisioni vengono prese una volta sola, all'inizio del lungo ciclo vitale di un vigneto.

Ma anche decisioni meno drastiche possono avere conseguenze notevoli per l'adattamento. I coltivatori non sono in grado di con-

FAI DA TE

Il test casalingo di assaggio del vino

Chiunque può imparare ad assaggiare il vino in modo più analitico, anche senza seguire i critici professionisti. Si tratta per lo più di imparare a identificare gli elementi del vino e associarli al termine che li descrive. Poiché persone diverse possono avere una percezione iniziale altrettanto diversa di un certo gusto, negli esperimenti di assaggio per prima cosa si annusano campioni fisici, per esempio le more, in modo da mettersi d'accordo sul significato del termine «mora». Quindi i partecipanti entrano in cabine singole, illuminate con una fioca luce rossa per far sì che tutti i vini sembrino dello stesso colore. Un ricercatore introduce un vassoio con i vini numerati e i partecipanti li valutano sullo schermo di un computer.

A casa potete semplificare questa procedura e renderla più divertente. Per prima cosa, dite a un gruppo di amici di portare una certa varietà di vino, per esempio il Syrah. Il vostro compito come padroni di casa consiste nel trovare campioni dei gusti che di solito si rilevano nel Syrah: pepe nero, mora, chiodo di garofano. Mettetene ciascuno in un bicchiere e copritelo con un pirottino per trattenere i composti aromatici. Quando gli ospiti si sono accomodati, passate i bicchieri e annusate i campioni. Quindi assaggiate ciascun vino e vedete quali aromi riconoscete e con che intensità.

Se volete un aiuto, potete considerare la «ruota degli aromi» messa a punto dalla chimica Ann Noble. Il centro indica categorie generiche di aromi, per esempio fruttato o speziato. Andando verso l'esterno della ruota, ogni categoria diventa sempre più precisa: prima fruttato, poi frutti di bosco, poi lampone. Imparare a percepire meglio i dettagli del mondo sensoriale può rendere molto più piacevoli le ore trascorse ogni giorno cucinando e mangiando.

I vinificatori dell'azienda Robert Sinskey Vineyards, a Napa, fanno in modo che il vino in fermentazione resti a contatto con le bucce degli acini per estrarne il più possibile il colore e i tannini.

Per gentile concessione di Robert Sinskey Vineyards

trollare la temperatura nel macroclima della loro regione, e hanno poche possibilità di controllarla nel mesoclima del vigneto, per esempio con irrigatori sovrachioma o teli ombreggianti. Ma possono infittire la copertura di foglie o cambiarne la posizione per rinfrescare il microclima dell'uva che sta maturando, per fare sì che mantenga meglio i composti determinanti per il gusto.

In California, per esempio, nei vigneti intorno a Carneros, le mie misurazioni hanno indicato livelli di luce solare molto alti (oltre il triplo di quelli rilevati in precedenza) sull'uva di oltre 500 viti di Pinot nero. Tutti i germogli e le foglie erano tenuti rigidamente sopra i grappoli tramite cavi per aumentare la circolazione dell'aria e ridurre le malattie. Le analisi che ho eseguito insieme con i miei colleghi di Stanford e Università della California a Davis Davis hanno dimostrato che ogni punto percentuale in più di luce determinava una diminuzione superiore al 2 per cento di tannini e antocianine desiderabili. L'abbandono dei tralicci verticali per aumentare l'ombra sulla frutta potrebbe contribuire al mantenimento di questi composti, oltre naturalmente a rinfrescare l'uva.

Anche se il gusto di un vino deriva per lo più dall'uva, i vinificatori possono intervenire nella fase di lavorazione per cercare di conservare le caratteristiche tipiche di un certo luogo. Se gli acidi si perdono troppo presto a causa del riscaldamento, se ne possono aggiungere nelle cantine. Se l'uva accumula troppo zucchero, che con la fermentazione porterebbe a livelli di alcool tali da sovrastare le sfumature gustative, i vinificatori possono usare l'osmosi inversa o altre tecniche per eliminare l'alcool in eccesso. Queste opzioni però sono strumenti piuttosto rudimentali: non riescono a correggere del tutto gli aromi che nascono nella vigna.

Ricavare il gusto migliore dal terreno è un'arte che richiede anni di lavoro intenso. Alcuni esperti del settore ritengono che le zone vinicole degli Stati Uniti come Napa e Sonoma siano ancora alla ricerca del *terroir* ideale. Alcuni anni fa Jason Kesner, che all'epoca gestiva un famoso vigneto a Napa-Carneros, mi ha detto che forse in quella zona serviranno intere generazioni per raggiungere l'eccellenza. «Ci vuole una generazione per far crescere un vigneto – diceva – e poi ci vogliono i figli per capire come piantarlo in modo diverso, e ci vogliono i nipoti per migliorare ulteriormente. È per questo che i francesi hanno vigneti così straordinari: hanno avuto più tempo per imparare». Eppure, dato che le uve migliori sono tanto sensibili al clima, se questo cambia anche solo un po' le conoscenze e le abilità perfezionate nel corso di generazioni possono diventare meno importanti, perfino su un terreno conosciuto.

Cambio di zona

Pur essendo relativamente nuovi, un Cabernet di Napa e un Pinot di Carneros hanno ciascuno il suo profilo e i suoi appassionati. «Ho aperto la bottiglia di vino e profumava di Carneros», mi ha detto poeticamente Debby Zygielbaum dell'azienda Robert Sinskey Vineyards di Napa. Se il cambiamento climatico altera l'aroma e il gusto delle uve, potrebbe danneggiare queste regioni. È vero che il riscaldamento potrebbe migliorare la viticoltura in alcune zone più fresche, per esempio la Tasmania, ma con ogni probabilità i cambiamenti saranno deleteri per i principali centri vinicoli, che si sono sviluppati su misura per le condizioni attuali. Secondo le mie ricerche, per esempio, un riscaldamento primaverile superiore a un grado ha buone possibilità di ridurre la produzione di uva da vino californiana. Un altro esempio: sempre in California, quando l'uva Pinot nero matura oltre una soglia di temperatura ottimale, il suo prezzo cala nettamente.

Come abbiamo visto, coltivatori e vinificatori hanno alcune soluzioni tecniche per adattarsi, ma resta da verificare se basteranno. E quand'è che l'applicazione del know-how rende il vino un prodotto artefatto, anziché l'espressione autentica del gusto unico di un luogo? In fondo, l'adattamento ha dei limiti sia biofisici sia economici.

Secondo i più recenti rapporti scientifici, se il consumo mondiale di combustibili fossili manterrà la tendenza attuale, nelle prossime generazioni la temperatura media globale subirà un aumento tra circa 2,6 e 4,8 gradi. Potrebbe sembrare una crescita contenuta, ma pensate che il limite minimo di questo intervallo corrisponde circa alla differenza attuale tra Napa e Fresno; quello massimo è la differenza tra la città vinicola di Lodi, nella Central Valley in California, e Houston, in Texas. Per quanto ingegnosi e creativi siano i viticoltori, è difficile immaginare che Houston diventi l'erede della Napa Valley.

Il vino è letteralmente un messaggio in bottiglia, dove è racchiuso per il nostro piacere. Ci permette di visitare parti del mondo che forse non vedremmo mai di persona. Riflette la straordinaria varietà ambientale e culturale del pianeta, e il forte rapporto che ha l'umanità con la natura, cui si affida per ottenere tutto ciò di cui ha bisogno per vivere, e molto di ciò che rende la vita degna di essere vissuta. Oggi rischiamo di compromettere gravemente la vita sulla Terra. Se non introduciamo cambiamenti forti molto presto, perdere il gusto del vino della mia terra sarà probabilmente l'ultimo dei problemi. ■

PER APPROFONDIRE

Farm-Scale Adaptation and Vulnerability to Environmental Stresses: Insights from Winegrowing in Northern California. Nicholas K.A. e H. Durham W.H., in «Global Environmental Change», Vol. 22, n. 2, 2012.

Climate Change, Wine, and Conservation. Hannah L. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 110, n. 17, pp. 6907-6912, 23 aprile 2013.

Salviamo il caffè. Rosner H., in «Le Scienze», n. 557, ottobre 2014.

ESPLORAZIONE

GRAZIE A INCREDIBILI
NUOVE TECNOLOGIE
GLI SCIENZIATI
STANNO RIPORTANDO
DI ANTICHE NAVI
CON LA STESSA
PRECISIONE DI UNO
SCAVO ARCHEOLOGICO

Edward O'Brien è stato il primo uomo a esplorare l'oceano con un Exosuit, che mantiene al suo interno per diverse ore una pressione atmosferica pari a quella della superficie fino a una profondità di 300 metri.

ALLA LUCE I RELITTI

Alla ricerca di tesori sommersi

di Philip J. Hilts

Philip J. Hilts è un giornalista scientifico indipendente, autore di sei libri, e reporter per il *New York Times* e il *Washington Post*. È stato direttore del programma Knight Science Journalism presso il Massachusetts Institute of Technology dal 2008 al 2014.

Duemila anni fa, una tempesta causò il naufragio di un'imbarcazione romana contro una scogliera a nord dell'isola greca di Antikythera. La nave affondò, e con essa un'enorme fortuna: monete, gioielli d'oro, decine di enormi statue di marmo e di bronzo e uno straordinario strumento meccanico, considerato oggi il primo computer analogico.

Il relitto si adagiò sul fondo del mare, a 50 metri di profondità, e lì rimase indisturbato fino al 1900, quando alcuni pescatori di spugne vi si imbatterono per caso. Equipaggiati solo con un elmetto e un lungo tubo che attingeva l'aria dalla superficie, i pescatori dovettero lottare anche solo per arrivare al vascello distrutto. Uno morì, altri due rimasero paralizzati.

Fu solamente nel 1976 che venne organizzata una nuova spedizione: Jacques Cousteau e il suo equipaggio esplorarono il sito con le normali attrezzature da immersione. Di conseguenza, per assicurarsi il tempo di risalita, che doveva essere lenta per evitare la «malattia da decompressione», ovvero la rapida espansione dell'azoto all'interno dell'organismo che distrugge i nervi e può essere fatale, i sommozzatori potevano rimanere sul fondo solo per pochi preziosi minuti a ogni immersione.

Questo problema si è risolto nell'ottobre 2014, durante una nuova spedizione a Antikythera. L'esploratore Phillip Short si è calato dalla *Petros Iro*, un'imbarcazione a noleggio, indossando un sistema di respirazione computerizzato con bombole multiple chiamato «autorespiratore a circuito chiuso». Il dispositivo rallenta l'accumulo dell'azoto nei tessuti, permettendo al sommozzatore di sondare il relitto per un'ora e mezza prima di risalire. Tuttavia, dato che dopo un'immersione così lunga l'ascesa doveva comunque essere lenta, Short si è portato dietro una rivista da leggere durante le varie fermate programmate verso l'alto. Nel corso delle due settimane di immersioni, Short e compagni hanno scoperto ogni genere di oggetti ricoperti di incrostazioni, da vasi di ceramica a due anse fino a una lancia di bronzo lunga oltre due metri.

Dopo diversi viaggi di Short e del suo team tra il sito e la costa, Edward O'Brien, della Woods Hole Oceanographic Institution, ha deciso di mettere alla prova uno strumento ancor più intrigante. A bordo della nave greca *Thetis*, O'Brien ha indossato l'Exosuit, una scintillante e muscolosa corazza che gli dava un aspetto a metà tra Iron Man e Buzz Lightyear. Alle 10.40 di un soleggiato mattino, O'Brien ha lasciato la *Thetis* e si è immerso tra le onde del mare, calato da un argano, fino a una profondità di oltre 60 metri, proprio accanto al sito del relitto. La'Exosuit è in grado di mantenere una pressione atmosferica pari a quella dell'aria di superficie, permettendo ai sommozzatori di rimanere immersi per molte ore e risalire direttamente, senza fare fermate intermedie. «Non si avverte alcun senso della pressione o della profondità», ha esclamato entusiasta O'Brien di ritorno sulla nave. «Essere a 15 o a 60 metri di profondità sembra la stessa cosa, tranne che forse a 60 è più buio».

L'equipaggiamento usato da Short e O'Brien è emblematico delle potenti tecnologie oggi a disposizione degli scienziati marini, avendo adattato con rapidità e ingegno le innovazioni sviluppate in altri settori per ampliare le proprie capacità. L'Exosuit, per esempio, era nata per assistere gli operatori durante l'ispezione a piedi di tunnel contenenti acqua e scarichi, lunghi anche diversi chilometri, ma la J. F. White Contracting lo ha modificato e adattato all'archeologia degli oceani.

Di conseguenza, molti siti importanti che una volta erano difficili da raggiungere si stanno ora aprendo all'esplorazione, generando nel giro di poche settimane risultati che fino a poco tempo fa avrebbero richiesto anni di lavoro. Per esempio a Pavlopetri, in Grecia, il sito della più antica cittadina portuale sommersa, i sommozzatori, nuotando a pochi metri dalla superficie, hanno guidato un piccolo mappatore ottico che ha scattato migliaia di fotografie digitali tridimensionali. Un software ha poi permesso di riorganizzarle, mettendo in luce case, strade, mercati e tombe sommerse, che costituivano un'intera città portuale risalente a 4000 anni fa. Negli scavi vicino alle isole Egadi, presso le coste della Sicilia, dove nel 241 a.C. alcune navi romane e cartaginesi affondarono nel corso dell'ultima battaglia della prima guerra punica, le scansioni dei sonar hanno identificato più di una dozzina di relitti sommersi. Sottomarini robot dotati di agili pinze hanno raccolto e riportato in superficie una varietà di attrezzature militari.

Ho trascorso più di una settimana con i sommozzatori e gli altri membri della spedizione ad Antikythera, facendo la spola tra le imbarcazioni e la riva. Una sera Brendan Foley, l'archeologo marino della Woods Hole a capo della spedizione, si è seduto con me nel magazzino del molo sopra una scogliera ventosa per rilasciarmi un'intervista. Dietro di lui, sul muro, era appeso il trofeo dei primissimi giorni della spedizione: una grande stampa della prima mappa fotografica mai fatta del sito.

«Siamo all'inizio di una nuova era», mi ha detto. «Siamo in grado di coprire aree più ampie, in maniera più veloce e più accura-

IN BREVE

Le nuove tecnologie permettono di identificare velocemente i siti dei relitti in maniera veloce, e di riportarli alla luce con la stessa precisione usata negli scavi archeologici.

Nel sito del relitto di Antikythera, in Grecia, i sommozzatori sono rimasti a 50 metri di profondità per 90 minuti grazie agli autorespiratori, invece degli otto consentiti da un normale equipaggiamento.

L'Exosuit permette di lavorare sott'acqua alla stessa pressione atmosferica della superficie, eliminando la necessità di una risalita lenta per evitare la «malattia da decompressione».

Le nuove tecnologie, perfezionate in altri due siti del Mediterraneo, Pavlopetri e le Egadi, stanno abbattendo tempi e costi delle ricerche, consentendo un numero sempre maggiore di scavi di antichi relitti e città sommerse.

Pagine precedenti: cortesia Brett Seymour/Argo e Brett Seymour/Woods Hole Oceanographic Institution

Tre siti di antichi naufragi sono serviti da banco di prova per testare alcuni innovativi equipaggiamenti che stanno rendendo l'archeologia oceanica più veloce e accurata. L'Exosuit (*nelle foto a pp. 82 e 83*) è stato usato nell'ottobre 2014 nel sito di Antikythera.

ta. E non dimentichiamo che i relitti sottomarini sono siti archeologici dove il tempo si è fermato. Sono completamente diversi dai siti di terraferma», costantemente razziati, ricostruiti e devastati in modi diversi. In passato, per esempio, le statue di bronzo venivano fuse per farne cannoni, ma sul fondo del mare le ritroviamo intatte; la maggior parte delle migliori statue dell'antichità oggi nei musei non proviene dalla terra, ma dal mare.

Dal momento che sui relitti sommersi il tempo si è fermato, i reperti, indisturbati per migliaia di anni, offrono un'incredibile finestra, culturale e scientifica, sulle società del passato. La possibilità di realizzare questo sogno ora è più vicina. «In passato lavorare sott'acqua era un problema per l'archeologia marina», afferma Jon Henderson, archeologo all'Università di Nottingham, nel Regno Unito, e secondo capo della spedizione a Pavlopetri. «Oggi non è più così: siamo andati oltre».

Cartografia automatica di Antikythera

Le nuove tecnologie hanno potenzialità tali da ispirare sogni nuovi e grandiosi. Uno di questi è cartografare intere regioni dei più profondi fondali marini, in maniera relativamente veloce, usando una piccola flotta di veicoli robotici sottomarini autonomi. Foley, per esempio, vorrebbe mappare l'intero fondale del Mar Egeo tra Creta e la penisola greca: per 5000 anni quest'area è stata un trafficato corridoio marittimo, e robot equipaggiati di sonar dovrebbero essere in grado di identificare i tesori dei suoi fondi senza difficoltà. Durante un'esplorazione, Foley ha trovato, confermato e videoregistrato dieci possibili relitti di navi in appena dieci giorni.

In passato gli archeologi marini dovevano mappare faticosamente un possibile sito usando strumenti a mano: le misurazioni erano eseguite usando metri a nastro e griglie costruite con legni e corde che indicavano dove avrebbero potuto trovarsi gli oggetti e in che modo erano correlati tra loro. Cartografare o scavare a profondità maggiori di tre metri diventava subito problematico, poiché i sommozzatori potevano rimanere immersi solo per pochi minuti, prima di dover risalire.

Ad Antikythera, un gruppo di ingegneri dell'Università di Sydney ha calato due siluri gialli dalla poppa di una modesta imbarcazione nelle azzurre acque dell'Egeo. I ricercatori hanno poi lasciato il robot libero di muoversi e di trovare il fondo. Oscar Pizzarro, capo del gruppo di ricerca, non aveva bisogno di comandare Sirius, il veicolo sottomarino, dal momento che questo seguiva autonomamente una missione preprogrammata. Scivolando tre metri sopra il sito del relitto, Sirius ha eseguito 40 passaggi paralleli e sovrapposti, come quelli di un tagliaerba, usando luci stroboscopiche per illuminare il fondale per le sue due telecamere. Grazie a un segnale GPS il veicolo conosceva la propria posizione con una precisione di circa un metro, ma raccoglieva informazioni molto più precise da ciascuna roccia, buca o protrusione, combinando i dati delle immagini con quelli relativi alla propria velocità, profondità e direzione. Ciascuna informazione era utilizzata per eseguire correzioni e aggiustamenti. Se in un'immagine c'era una zona d'ombra dietro una roccia, per esempio, un'altra immagine, presa da un'altra angolazione, la colmava.

Sebbene una sessione di tre ore, seguita da alcune ore di elaborazione al computer, sarebbe stata sufficiente per ricostruire l'intero ritratto del vecchio relitto, il gruppo ha eseguito due ulteriori passaggi per garantire una maggiore accuratezza. L'immagine finale è composta da 50.000 fotografie singole, ciascuna con una precisione dell'ordine del millimetro. L'immagine, tridimensionale può essere inclinata e osservata da ogni lato.

Stefan Williams, un membro del gruppo, afferma che qualche

Laszlo Kubinyi

anno fa uno studio di questa portata, condotto in un qualsiasi altro luogo, avrebbe richiesto più di un mese di lavoro: il suo gruppo è riuscito a portarlo a termine per tre volte, in un unico fine settimana.

Respira e autorespira

Una volta completata la realizzazione della mappa, i sommozzatori hanno potuto immergersi in punti specifici, anche più volte se necessario. I pescatori di spugne che nel 1900 avevano raggiunto il fondo marino potevano rimanervi per soli tre minuti: questo breve lasso di tempo era stato comunque sufficiente per recuperare un antico computer analogico, oggi noto con il nome di meccanismo di Antikythera. L'immersione in profondità è pericolosa perché la forte pressione dell'acqua comprime i gas contenuti nei tessuti del corpo, finché raggiungono un volume pari a una frazione del loro volume normale. Le cellule del corpo compensano questo stato grazie all'aria contenuta nelle bombole e respirata dai sommozzatori, che sfruttano per gonfiare i tessuti e resistere alla pressione: ciò significa che il corpo deve far fronte a un significativo volume di aria, per la maggior parte azoto. Quanto maggiore è il tempo trascorso sott'acqua, tanto più elevata è la quantità di gas che si accumula.

Il pericolo più serio si presenta quando i sommozzatori iniziano la risalita: i gas contenuti nei tessuti possono liberarsi ed espandersi, come le bollicine di una bottiglia di acqua gassata quando viene aperta. È essenziale che i sommozzatori risalgano lentamente, in modo che i gas si liberino gradualmente: se la risalita è troppo veloce, i gas possono formare bolle nel sangue, che possono bloccare la circolazione all'interno dei piccoli vasi e paralizzare i nervi e gli organi. L'azoto, in particolare, rappresenta un problema.

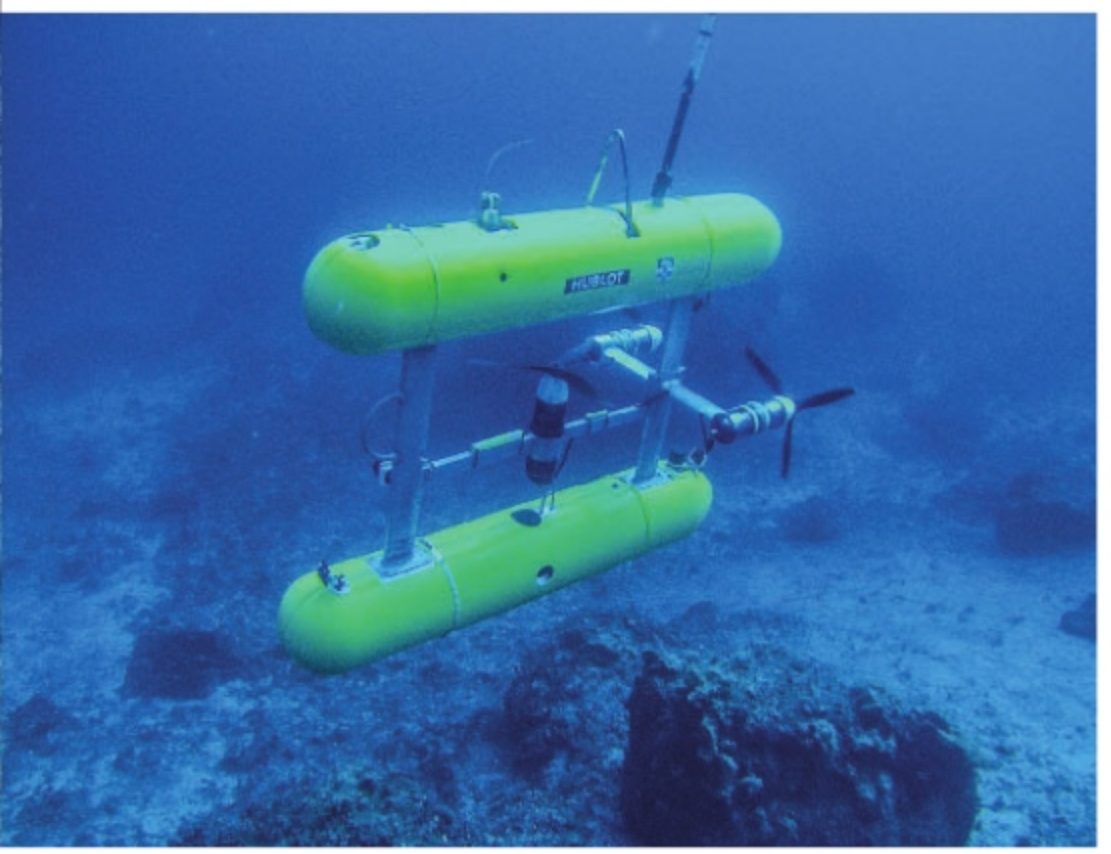
Sulla piccola imbarcazione dei sommozzatori, Short lotta con un equipaggiamento il cui ingombro è praticamente il doppio di quello che indosserebbe per un'immersione standard, girandosi e contorcendosi per farsela stare tutta addosso. Al posto di una semplice tanica metallica di aria, come per una normale immersione, l'autorespiratore attinge da due bombole che Short si carica in spalla, una di ossigeno e una contenente un cocktail *trimix*, composto da elio, ossigeno e azoto. L'autorespiratore raccoglie le esalazioni del sommozzatore, le ripulisce dall'anidride carbonica e vi inietta ossigeno per rimpiazzare quello usato dal sub. Un software monitora il livello di ossigeno, creando in pratica una miscela di gas adatta per ciascuna fase dell'immersione.

Ogni sera c'è poi un'ora di lavoro dedicata allo smontaggio, alla pulizia e al riassemblaggio di questa attrezzatura hi-tech. «Ammetto di essere ossessivo-compulsivo per quanto riguarda questo aspetto. Il fatto è che tutto deve essere assolutamente giusto», ammette Short, inginocchiato accanto alle bombole e al monitor del computer da polso che le controlla. «Quando tutto funziona bene, non ci sono problemi – spiega – ma bisogna stare sempre all'erta ed essere preparati se qualcosa va male con la strumentazione elettronica. Ecco a che cosa serve l'allenamento, per affrontare le possibili emergenze».

La lancia di Sotiriou

Meno hi-tech, ma molto utile durante le prime immersioni, è stato il metal detector subacqueo. Dopo 2000 anni la maggior parte delle strutture di legno delle navi è ormai dissolta, e gran parte degli artefatti è sotterrata dalla sabbia e dai sedimenti: molti di essi sono «cementati», ovvero racchiusi in carbonato di calcio e

L'autorespiratore indossato da Phillip Short (*bombola rossa, in alto a fronte*) riduce l'accumulo di azoto nei tessuti, che può paralizzare un sommozzatore, dandogli il tempo di riportare alla luce una lancia lunga oltre due metri (*in basso a fronte*). I veicoli autonomi (*sotto*) possono delineare una mappa precisa di ampie aree del fondo marino, guidando gli esploratori verso i tesori sommersi.



altri minerali, tanto da sembrare grosse pietre bianche. Come sulla terraferma, il metal detector emette un lungo fischio quando localizza un oggetto metallico. Durante i primi giorni i sommozzatori avevano registrato diversi segnali intensi, e avevano collocato alcune pietre tinte di giallo per identificare i punti critici su cui sarebbero poi tornati per proseguire le ricerche.

Dopo alcuni giorni di pausa nelle immersioni dovuti a un vento a 50 chilometri all'ora e a onde di due metri e mezzo, il sommozzatore Alex Sotiriou è tornato sulle aree identificate e ha iniziato a scavare. Questo è il momento in cui gli svantaggi dell'acqua si trasformano in vantaggi. Spesso sulla terraferma il suolo è duro, e obbliga gli archeologi a scavare lentamente, con pale, palette e infine spazzole, per riportare alla luce gli artefatti. In mare, invece, il «terreno» è morbido e facile da spazzare via con un movimento della mano del sommozzatore. Le fosse si scavano con facilità, e i tubi per l'aspirazione possono rimuovere il limo e la sabbia e scaricarli altrove. Con un unico movimento del guanto, Sotiriou ha spazzato via diversi centimetri di sedimenti; un altro passaggio ed è apparso il moncone di una lancia di bronzo. Continuando a spazzare lungo il manico è finalmente giunto a trovare la grande punta affilata. Tutta intera, la lancia era lunga più di due metri.

Gli archeologi del gruppo pensano che la lancia sia troppo pesante per essere stata una vera arma: probabilmente faceva parte di una grande statua di bronzo, ed era impugnata da un guerriero ancora sepolto nel sito. I sommozzatori hanno inoltre riportato in superficie un'anfora di terracotta di circa 50 centimetri, usata probabilmente per servire il vino, un anello di bronzo per legare il sartiame della nave e due anelli decorativi di un letto romano. Gli oggetti più piccoli sono stati tirati a secco in piccole borse a mano, mentre per gli oggetti più grandi, come la lancia, i sommozzatori hanno portato con sé tubi vuoti ripiegati, poi riempiti con l'aria contenuta in una delle bombole dell'autorespiratore e legati agli oggetti per lasciarli gentilmente risalire a galla fino alla barca.

Le scoperte più interessanti, tuttavia, si trovavano a quasi 200 metri di distanza, abbastanza lontano dal relitto principale da far pensare ai ricercatori che si trattasse di una seconda nave, forse in viaggio assieme alla prima. Qui hanno scoperto una seconda ancora, un pezzo di un tubo di piombo che potrebbe aver fatto parte della pompa di sentina del vascello, e una serie di anfore che sembravano non essere mai state toccate. Forme e iscrizioni indicano la loro provenienza da quattro porti: Pergamo, Efeso, Kos e Rodi: gli stessi quattro tipi trovati sulla nave principale.

Una volta a terra, quando l'origine dei reperti è stata confermata Theotokis Theodoulou, uno dei responsabili della spedizione presso la Sovraintendenza greca per le antichità sommerse, ha dichiarato entusiasta che «questo posto conserva ancora molti segreti. Vogliamo tornare più e più volte per scoprirli».

Le meraviglie dell'Exosuit

Nel corso della prossima spedizione, se ci sarà, i progressi potrebbero essere ancora più veloci grazie a una nuovissima tecnologia inaugurata durante le immersioni a Antikythera: l'Exosuit.

Con un ritardo di due settimane a causa del forte vento, il 7 ottobre il sommozzatore Edward O'Brien, all'interno dell'Exosuit, è stato prelevato dal ponte della *Thetis* e calato con un cavo tra le onde. Per l'avveniristica muta, costruita da Nuytco Research, si è trattato della prima missione, «la prima volta in acque salate», esclama Jim Clark della J.F. White Contracting, la società proprietaria dell'attrezzatura.

Quando O'Brien è entrato in acqua, gli operatori hanno scollegato il cavo, lasciandolo calare a 60 metri di profondità, vicino al relitto, dove ha messo alla prova l'armatura, le cui 18 articolazioni flessibili permettono al sommozzatore di eseguire i naturali movimenti delle braccia, delle gambe e del torso. Se necessario, O'Brien poteva inginocchiarsi, sdraiarsi sulla pancia sul fondo dell'oceano e contorcersi nelle numerose posizioni in cui posono ritrovarsi i sommozzatori mentre lavorano.

Il vero entusiasmo però non è venuto dalla forza o dall'agilità della muta, ma dalla sua capacità di mantenere l'occupante a una pressione atmosferica pari a quella della superficie per tutta la durata dell'immersione: niente gas compressi nel corpo e niente malattia da decompressione.

Risalito in superficie in pochi minuti e uscito dalla muta sul ponte, O'Brien, appoggiato al parapetto della nave, ha dichiarato che l'esperienza è stata completamente diversa da una normale immersione. Più tardi, quello stesso giorno, anche l'ufficiale della marina greca Fotis Lazarou ha indossato la muta a 60 metri di profondità.

Costruita con metallo e materiali sintetici, a terra l'Exosuit pesa più di 220 chilogrammi, ma in acqua è leggera come una piuma, praticamente in equilibrio di galleggiamento. È in grado di mantenere un sommozzatore a una pressione atmosferica di superficie fino a 300 metri, ampliando in maniera significativa le profondità a cui gli esseri umani possono lavorare senza essere intrappolati all'interno di un sommergibile.

Gli archeologi stanno già pensando di usare l'Exosuit per studiare ampie aree dell'indisturbato fondo marino, oltre il livello setacciato dalla pesca a traino, a circa 100 metri. Nelle prossime immersioni la muta sarà equipaggiata con un tubo di suzione appositamente progettato che permetterà al pilota di aspirare sabbia e limo da un relitto per diverse ore. I ricercatori sperano di poter usare l'Exosuit già quest'anno per una nuova missione destinata a continuare gli scavi ad Antikythera.

Cortesia Phillip Short/Argo; a fronte: cortesia Brett Seymour/Argo

CRONOLOGIA

Un tuffo nelle esplorazioni sottomarine

1531

DEBUTTO DELLA CAMPANA SUBACQUEA

I cacciatori di tesori perlustrano il fondale del lago di Nemi, vicino a Roma, indossando rozze campane subacquee, alla ricerca delle navi cariche di gioielli costruite per l'imperatore Caligola. La campana, a forma di barile, è indossata sulle spalle e attorno al collo, e intrappola una quantità d'aria sufficiente per restare sott'acqua fino a un'ora.

1620

IL PRIMO SOTTOMARINO

Una dozzina di uomini fa muovere il primo sottomarino del mondo usando remi che fuoriescono da buchi sigillati con pelle sui lati dell'imbarcazione. Cornelis Drebbel, l'inventore olandese, lo sperimenta nel Tamigi per conto del re d'Inghilterra.

1691

TANICHE DI OSSIGENO

L'inglese Edmond Halley, conosciuto soprattutto per l'omonima cometa, estende le riserve d'aria delle campane subacquee calando in acqua dei barili piombati pieni di ossigeno.

1715

UNA MUTA IMPERFETTA

L'inglese John Lethbridge inventa una prima muta da immersione, simile a un barile orizzontale dotato di buchi per le braccia, sigillati con pelle. Non riuscirà a raggiungere una profondità significativa a causa della differenza di pressione tra il tronco e gli arti.

1788

NUOVA CAMPANA SUBACQUEA

L'americano John Smeaton aggiunge una tanica per immagazzinare l'aria, attinta dalla superficie grazie a una pompa manuale e un tubo. Una valvola unidirezionale impedisce all'aria di risalire.

1864

IL POLMONE D'ACCIAIO ISPIRA I SUB

I francesi Benoit Rouquayrol e Auguste Denayrouse brevettano l'Aérophore, un prototipo di autorespiratore. Il sommozzatore respira attraverso una membrana e una valvola l'aria contenuta in una tanica, pompata dalla superficie attraverso un tubo.

1870 circa

L'AUTORESPIRATORE RICICLA L'ARIA

L'inglese Henry Fleuss inventa l'autorespiratore, un sistema a circuito chiuso che rifornisce il sommozzatore di ossigeno sotto pressione; allo stesso tempo, il sistema assorbe l'anidride carbonica esalata usando una corda imbevuta di idrossido di potassio.

Un prototipo a Pavlopetri

Campagne precedenti hanno aperto la strada alla spedizione di Antikythera. Il precursore del veicolo robotizzato Sirius, infatti, era stato sviluppato per una spedizione alle rovine della città sommersa di Pavlopetri, progettato appositamente per ispezionare le peculiari strutture situate tra i 3 e i 4,5 metri di profondità, vicino alla costa meridionale di Laconia, all'estremità della penisola del Peloponneso. I resti erano stati scoperti nel 1968, ma erano stati cartografati in modo approssimativo e riportati alla luce solo parzialmente. Nel 2009 l'archeologo Jon Henderson è arrivato sul posto per condurre una verifica dettagliata.

Gli ingegneri avevano montato due telecamere ad alta risoluzione su una struttura quadrata che i sommozzatori spingevano lungo traiettorie sovrapposte al di sopra delle strutture sommerse. Un software combinava le immagini con l'informazione relativa alla velocità e alla posizione dell'impianto, creando un preciso fotomosaico del fondo marino, e senza bisogno di usare corde o metri a nastro.

Il fotomosaico ha generato la prima vera rappresentazione di ciò che c'era sul fondo: un'intera città, con strade che separano 15 edifici, stanze piene di anfore, e tombe, il tutto su una superficie di più di 8 chilometri quadrati. L'analisi degli oggetti ritrovati ha permesso di datare la parte più antica di Pavlopetri a circa 4000 anni fa.

Si tratta del primo insediamento sottomarino a essere stato cartografato digitalmente e di cui è poi stato creato un modello tridimensionale. Per il tocco finale, Henderson ha coinvolto Simon Clarke, un esperto di animazione digitale che ha lavorato ai film della serie di *Harry Potter*. Usando i dati dello studio Clarke ha creato un'animazione che ricostruisce un percorso attraverso la città così come si presentava un tempo.

Carneficina a Cartagine

Un'altra spedizione di archeologia marina che ha applicato in modo pionieristico le nuove tecnologie ai propri obiettivi è stata portata a termine in una serie di viaggi alle isole Egadi tra il 2005 e il 2013.

L'antica città di Cartagine controllò per secoli le più importanti tratte commerciali tra l'Africa e l'Italia. Le sue grandi imbarcazioni a remi sconfissero ripetutamente i vascelli romani, soprattutto grazie ai colpi inferti agli scafi nemici dai grossi rostri di bronzo fissati alla prua. Nel 241 a.C. i romani allestirono una flotta di navi per il contrattacco, anch'esse dotate di rostri. Circa 200 navi da guerra romane si lanciarono all'attacco contro diverse centinaia di navi da guerra e da trasporto cartaginesi. Lo storico Polibio disse che lo scontro fu «la battaglia più violenta mai combattuta nella storia». Ma non specificò dove si svolse.

La Sovraintendenza siciliana per l'archeologia sottomarina ha affidato la ricerca del luogo della battaglia a Sebastiano Tusa, archeologo italiano, e Jeffrey Royal, della RPM Nautical Foundation della Florida. Testimonianze storiche indicavano un luogo poco a est dell'isola di Levanzo, ma i relitti avrebbero potuto trovarsi sparpagliati un po' ovunque in un'area di oltre 150 chilometri quadrati di fondo marino, a quasi 100 metri di profondità.

Tusa e Royal hanno iniziato la loro esplorazione pluriennale con una nave da ricerca che navigava su percorsi a passaggi paralleli, equipaggiata con un sonar a poppa. Questo «sonar a fasci multipli» emetteva 500 impulsi diversi alla volta, a un ritmo fino a 40 impulsi al secondo. Riflettendosi sul fondale marino, le onde sonore generavano una mappa approssimativa dell'area. I ricercatori hanno analizzato gli echi sonori che sembravano indicare degli oggetti e sono riusciti a identificare una serie di relitti, da moderni aeroplani ad antiche navi. L'accuratezza delle localiz-

1900

IL SOTTOMARINO MILITARE

L'immigrato irlandese John Holland costruisce per la Marina degli Stati Uniti un moderno sottomarino, azionato a gasolio ed elettricità. Il modello, l'*Holland,* ha successo, e durante la prima guerra mondiale imbarcazioni simili debuttano negli eserciti di tutto il mondo.

1919

LA GUERRA DEI SONAR

Le Marine militari di Gran Bretagna e Francia inventano un sistema sonar per identificare i sottomarini. Sarà installato sui mezzi militari nei successivi vent'anni.

1934

ESPLORATORI NELLA PALLA DI FERRO

All'interno della batisfera, una palla cava di acciaio del peso di due tonnellate e mezzo, due uomini stabiliscono il record di immersione a circa un chilometro di profondità. Un cavo d'acciaio collegato alla nave madre li cala e li solleva dall'acqua, un secondo cavo fornisce energia per un telefono e la luce, e un tubo garantisce l'aria.

1943

I SOMMOZZATORI RESPIRANO IN PROFONDITÀ

Progettato dall'ingegnere Emilie Gagnan e dall'esploratore Jacques Cousteau, arriva sul mercato l'Aqua-Lung. Il dispositivo, dotato di una valvola automatica, garantisce al sommozzatore aria fresca a ogni respiro. Si tratta dello stesso sistema di base impiegato tuttora per le immersioni.

1955

LA RICERCA DEI METALLI TROVA LE PLACCHE

Gli scienziati studiano i fondali con il magnetometro, un metal detector sottomarino trainato da una nave. Le esplorazioni rivelano la presenza di metalli superficiali disposti a strisce alternate, che permettono di datare il fondo marino e offrono le prove della teoria della tettonica a placche.

1960

L'UOMO RAGGIUNGE LA PROFONDITÀ MASSIMA

Il mezzo della Marina statunitense *Trieste*, un batiscafo di diametro pari a circa due metri su cui è montato un serbatoio di gasolio di 15 metri, raggiunge il punto più profondo di tutti gli oceani, il fondo della Fossa delle Marianne, a 11 chilometri di profondità, a dispetto di una crepa in un oblò.

1960 circa

ARRIVANO I ROBOT

La Marina degli Stati Uniti finanzia lo sviluppo di veicoli comandati a distanza, robot sottomarini manovrati dai ricercatori su una nave in superficie tramite controllo remoto, per raccogliere dati o esplorare virtualmente i relitti affondati.

1970 circa

MACCHINE AUTONOME

L'Università di Washington impiega un veicolo sottomarino autonomo nell'Artico. È programmato per raccogliere dati ed eseguire alcuni compiti senza l'ausilio di un operatore umano. Il progresso dei veicoli autonomi o telecomandati ha aperto all'esplorazione il 98 per cento dei fondali oceanici.

1980

IN DIRETTA DAGLI ABISSI

Robert Ballard, scopritore del relitto del Titanic, progetta una telecamera sottomarina in grado di trasmettere in superficie immagini video in diretta tramite fibre ottiche.

2014

NUOVA FLESSIBILITÀ PER I SOMMOZZATORI

Un team che studia un relitto in Grecia sperimenta l'Exosuit, una muta blindata che mantiene al suo interno una pressione atmosferica pari a quella di superficie, permettendo ai sommozzatori di raggiungere una profondità di 3 chilometri per un tempo massimo di 40 ore.

Amy Nordrum

zazioni, tuttavia, era abbastanza bassa. Dopo numerose analisi, il gruppo è ritornato sul posto con un visualizzatore sonar più preciso, chiamato *sector scanner*, che gli scienziati calavano, appoggiato su un tripode, sul fondo di un potenziale sito, per ottenere un'immagine più ravvicinata e nitida.

Se un oggetto era ritenuto importante, i ricercatori inviavano un sottomarino robotizzato a comando remoto dotato di telecamere per localizzarlo. I membri dell'equipaggio, che si trovavano a bordo della nave, osservavano ciò che il robot stava registrando tramite un collegamento video. Se identificavano un oggetto, potevano telecomandare bracci meccanici dotati di pinze per tentare di estrarre il relitto dai sedimenti e portarlo in superficie: un impiego piuttosto inusuale dei robot per prelevare artefatti dai relitti antichi.

È stato solo alla fine della stagione di ricerca del 2010, tuttavia, che Tusa e Royal sono incappati in ciò che stavano cercando: un relitto con un rostro da battaglia.

Nei tre anni successivi hanno scoperto altre otto navi simili, alcune romane e altre cartaginesi: tutti i nove rostri di bronzo rinvenuti presentavano alcune incisioni che li collegano all'epoca della battaglia navale. Questi artefatti, inoltre, hanno messo in luce molte altre informazioni sulle guerre navali del tempo: i rostri erano montati a prua delle navi a remi, proprio sulla linea dell'acqua, ed erano dotati di tre grandi lame orizzontali progettate per perforare lo scafo di una nave quando entravano a contatto con esso.

Scongelare il tempo

Le opportunità dell'archeologia oceanica ad alta tecnologia si stanno velocemente ampliando. I sommozzatori equipaggiati con autorespiratori e Exosuit possono arrivare a profondità di decine di metri e rimanere in immersione per ore. I veicoli robotici pilotati dalle navi o programmati per navigare da soli possono coprire velocemente non metri ma chilometri quadrati, catturando immagini digitali con precisione millimetrica. In futuro gli esploratori potranno forse operare intere stazioni robotiche sottomarine che non richiedono equipaggio o l'uso di costose imbarcazioni. Nei suoi sogni più arditi, Foley della Woods Hole immagina di cartografare l'intero fondale del Mar Mediterraneo, e catalogare così migliaia di relitti che potrebbero offrirci un'appassionante prospettiva su culture diverse e attraverso molteplici epoche storiche.

A una conferenza di archeologia marina tenutasi nell'autunno del 2014, Royal ha inoltre fatto presente che questa serie di nuove tecnologie rende l'esplorazione molto meno costosa e molto più semplice: gli scienziati potrebbero raggiungere i siti con poche migliaia di dollari e ritornare con immagini 3D di particolari oggetti. «Sempre più persone potranno intraprendere questo tipo di studi, in molti più luoghi – ha affermato – e dal momento che i soldi a disposizione sono molto pochi, questa è la direzione che dovrà seguire l'archeologia marina».

L'intera storia dell'umanità marinara, per cui il tempo si è fermato sul fondo degli oceani, è divenuta accessibile. Come mi ha fatto notare Foley sulla remota isola di Antikythera prima di partire, «per la prima volta il 98 per cento dei fondali oceanici è ora alla nostra portata». ■

PER APPROFONDIRE

Decoding the Heavens: A 2,000-Year-Old Computer - and the Century-Long Search to Discover Its Secrets. Marchant J., Da Capo Press, Boston, 2009.

Il sito web della nuova spedizione ad Antikythera: **http://antikythera.whoi.edu.**

Decifrare un antico calcolatore. Freeth T., in «Le Scienze», n. 498, febbraio 2010.

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Prima della primavera

Nonostante la casa dei Rudi Matematici sia un covo di scettici razionalisti che rifuggono da ogni credenza e convinzione non suffragata da metodo scientifico, *peer review* o test a doppio cieco (con la naturale e ovvia eccezione del riconoscimento delle capacità telepatiche di Gaetanagnesi verso l'ora di cena), la sezione umana femminile sta con tutta evidenza trasmettendo un muto messaggio subliminale. Con altrettanta evidenza, e pur avendolo compreso appieno, la componente maschile palesa (o meglio simula) una completa assenza di ricettività e di qualsivoglia altro processo mentale, sensoriale o extrasensoriale che sia.

Per coloro che fossero poco avvezzi ai rigogliosi e ben oliati meccanismi delle tigne tra coinquilini, è forse opportuno chiarire la fragile dinamica che sorregge, in un gioco di mirabolante equilibrismo, la ripartizione dei lavori, dei compiti, e di conseguenza anche dei ruoli impliciti in ogni convivenza. È evidente che, sulle ali di Madonna Primavera, novelli fervori e alacri opere di manutenzione domestica siano alle porte. È anche evidente tuttavia che chiunque si fosse avocato il diritto di esplicitare verbalmente cotanta necessità si sarebbe istantaneamente rivestito del ruolo di tiranno e fustigatore delle altrui pigrizie: in altre parole, del rompiscatole.

Lo stallo rischia di protrarsi a lungo anche perché Rudy, da sempre aduso al ruolo di Grande Capo (e di conseguenza anche a quelli di tiranno, fustigatore e rompiscatole), continua placido e sereno a tracciare con aria distratta ghirigori sul suo quadernetto.

«Marzo, è sparita la neve.»

Un fulgido lampo di vittoria si accende nelle quattro pupille maschili: la frase, per quanto breve e pronunciata a bassa voce, era inequivocabilmente caratterizzata da un registro da contralto. Anche quest'anno non è stato necessario aspettare il «*miao*» di una gatta affamata per rompere l'impasse.

«Capita spesso, Treccia: più o meno tutti gli anni. Vero è che se il *global warming* continua così, c'è rischio che queste osservazioni diventino presto un ricordo...»

«Sarebbe terribile. E non solo per la fine ingloriosa del genere umano e del pianeta, ma anche perché il nostro giardino, senza neve, ha sempre un'aria spoglia e deprimente.»

Lo stallo è evidentemente risolto, ma il punto cruciale non ancora esplicitato.

«Anche questo succede tutti gli anni – dice Rudy, accelerando l'inevitabile – e, come tutti gli anni, ti facciamo umilmente notare che è ancora un po' presto per cominciare a zappare le aiuole e mettersi a piantare leggiadri fiorellini. Il terreno è ancora duro, e le gelate improvvise tutt'altro che impossibili...»

«Lo so bene – sospira Alice – per quale ragione pensate che non vi abbia ancora cacciato fuori a calci, armati di zappe, vanghe e rastrelli? È solo che quest'anno vorrei davvero cambiare, rendere tutto più allegro e originale. Stavo pensando di costruire una serie di giardini verticali, che...»

«Giardini verticali? Vuoi far crescere le piante orizzontali? O stai immaginando qualcosa tipo le due torri che a Milano...»

«No, Doc, quello è il Bosco Verticale, non il Giardino. Credo la nostra Treccia, più umilmente, si riferisca a quelle piccole strutture che, in prima approssimazione, potresti considerare come muri con tasche piene di terra. Confesso che l'idea non mi entusiasma granché... preferirei di gran lunga qualcosa di più matematico.»

«Matematico, come no... come se la terza dimensione fosse territorio riservato ai filosofi e ai pallavolisti. Dì la verità, piuttosto: quando si tratta di giardini, sei spudoratamente piatto ed euclideo, con buona pace di Bolyai, Lobachevsky, Riemann e un sacco di altra gente. L'unica cosa che davvero ti interessa è usare il terreno come lavagna e i fiori come gesso. Hai partorito qualche nuova brillante idea sulle solite aiuole basate sui rettangoli aurei?»

«Beh, non proprio rettangoli, a dire il vero. Però, se mettessimo tre aiuole circolari...»

«Eccola, la grande novità!», esclama trionfante Alice. «Dei cerchi! Assolutamente rivoluzionari, per delle aiuole! E hai intenzione di farceli fare tutti uguali, come inno all'uniformità del creato floreale?»

«No, adesso non esageriamo. Anzi, pensavo a tre belle aiuole

Illustrazione di Stefano Fabbri

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di aprile e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Rivoluzione nel giardino dei Rudi, Piotr deve ricavare aiuole particolari da seminare in modo proporzionale alla superficie

IL PROBLEMA DI FEBBRAIO

Nel numero scorso si chiedeva di calcolare le probabilità di vittoria e di patta per un teorico «filetto» (o tic-tac-toe) in cui le mosse dei giocatori fossero del tutto casuali. L'unica via che conosciamo per arrivare alla soluzione si basa più o meno sulla forza bruta, ovvero sul conteggio delle combinazioni possibili di cinque X (segno del primo giocatore) e quattro O (segno del secondo), su una griglia di 3 x 3 caselle; si ipotizza pertanto che si giochi sempre fino al completamento della griglia, anche se uno dei giocatori ha già vinto.

Le combinazioni possibili di 5 elementi in 9 posti (9 binomiale 5) sono 126: è abbastanza semplice vedere che, di queste, 16 conducono a patta (4 configurazioni diverse più rotazioni e riflessioni), 12 alla vittoria certa del secondo giocatore (filetto di «O» in diagonale), mentre ben 36 restano indecise (con «filetti» sia di X che di O). Le residue 62 sono tutte vittorie certe per il primo giocatore.

Analizzando opportunamente le 36 posizioni indecise sulla base del turno di mossa in cui avviene la vittoria, si può evincere che in queste il primo giocatore ha probabilità di vittoria pari a 13/40, mentre il secondo 27/40. Tirando le somme, la vittoria di X ha probabilità (62 + 36 x 13/40)/126 = 0,584921; la vittoria di O ha probabilità (12 + 36 x 27/40)/126 = 0,288095; la patta 16/126 = 0,126875. Ergo, anche se nel filetto «razionale» la patta è virtualmente certa, in quello «pigro» è decisamente meno probabile.

circolari di raggi diversi, diciamo *a*, *b*, *c*, con opportuni valori da definire; ma fatte in modo che ognuna di esse sia tangente alle altre due. Poi qui scatta la tua creatività d'orticultrice. In ciascuna di queste tre aiuole, semineremo qualcosa di diverso rispetto alle altre: prenderemo sementi più o meno della stessa dimensione, in modo che la quantità di semi sia proporzionale alla superficie. Perfino Doc dovrebbe riuscire a ordinare le quantità giuste, giù dal nostro florovivaista.»

Piotr fa letteralmente un salto sulla sedia: «Intendi dire che io procaccerò le sementi mentre voi due vangate? Grandioso! Fantastico! Eccellente! Sono disposto perfino a ripassare la formula dell'area del cerchio, visto il clamoroso incentivo.»

«Ma.. e il resto del giardino – Alice non pare per niente convinta – vuoi lasciarlo spoglio? Tre cerchi in croce, e poi nient'altro? Solo erbetta per le capre di passaggio? Mi sembra tutto un po' troppo scialbo...e poi, quella specie di buco triangolare tra le aiuole è orribile.»

«Sarà un prestigioso triangolo curvilineo, altro che buco. Comunque, se non ti piace, ricava nel "buco" un'altra aiuola: ma che sia anch'essa perfettamente circolare, e naturalmente anch'essa tangente a tutte e tre le aiuole precedenti. E seminata con qualcosa di diverso, ovvio.»

Piotr ha già un soprabito addosso, e ripassa con attenzione un foglietto di appunti. «Guardate che avete promesso, eh? Io vado a comprare i semi, e voi vangate!». Quindi torna a controllare gli appunti: «Allora, riepiloghiamo, GC... i valori di *a*, *b* e *c* me li hai dati, quindi devo comprare esattamente *a*–quadro–pigreco di azalee, *b*–quadro–pigreco di begonie, *c*–quadro–pigreco di calendule, e... e... non abbiamo deciso niente sull'aiuola centrale! Treccia vorrà dalie o denti di leone, o magari damigelle damascene, ma.. ehm, Capo... quanto hai detto che vale l'area dell'aiuola centrale?»

Rudy trattiene a stento un sorriso, mordendo il cannello della pipa.

«Che domande! Ma *d*–quadro–pigreco, no? Comunque guarda che per evitare la vangatura, almeno "*d*" te lo devi ricavare da solo. Altrimenti ti obbligheremo a seminarci Dragon Tree, che però credo si trovino solo nello Yemen, e che siano protetti dall'UNESCO. Fai un po' tu...»

Le diverse età della vecchiaia

Mille anni o un giorno appena
di Jonathan Silvertown
Bollati Boringhieri, Torino, 2015, pp. 186 (euro 22,00)

Invecchiamo tutti. Animali grandi e piccoli, fili d'erba e alberi poderosi. Ogni essere vivente va incontro a un'ineludibile processo di senescenza. Alcuni però lo fanno più lentamente di altri. Una sequoia vecchia di secoli è ancora in grado di produrre gemme vitali, ma noi già a cinquant'anni siamo sulla via della decadenza. Dove si cela il segreto dell'eterna giovinezza? O almeno, quello dell'invecchiamento più lento?

Questo libro cerca le risposte nell'intero dominio dei viventi: cespugli di creosoto, cedri millenari, topi longevi, esseri umani supercentenari. Una possibile soluzione la troviamo nel DNA: i gemelli omozigoti hanno longevità spesso simili. Ma anche gli stili di vita fanno la loro parte: natura e cultura sono a braccetto nel definire quante primavere vedrete. E se un buon consiglio che viene citato spesso nel libro è scegliersi buoni genitori, certo le condizioni ambientali possono aiutare nel posporre l'invecchiamento. La restrizione calorica (cioè, limitare l'assunzione di cibo) si è mostrata molto efficace, ma ancora non ne abbiamo dimostrato l'utilità nella nostra specie. Sappiamo però che la tuia, un arbusto piuttosto comune nel nord degli Stati Uniti, usato anche come pianta ornamentale, varia radicalmente la sua aspettativa di vita a seconda di quanto nutrimento ha a disposizione. Nei terreni più fertili vive circa otto decenni, ma in luoghi aridi, con ridotta disponibilità di risorse, può arrivare ben oltre il millennio.

Ci sono poi altre ragioni inscritte nella biologia delle diverse specie. Per esempio, per la loro conformazione cellulare, le piante non corrono il rischio di morire di cancro. Nonostante le loro cellule si dividano per moltissime volte, e siano quindi esposte a un alto rischio di mutazione maligna nel corso dei processi di replicazione del DNA, non hanno la possibilità di diffondersi in tutto l'organismo, e quindi creare metastasi. Negli esseri umani oltre una certa età, il cancro diventa una delle principali cause di mortalità (circa il 25 per cento degli anziani statunitensi), contribuendo parecchio a ridurre l'aspettativa di vita.

Ma un'altra caratteristica che colpisce è l'enorme variazione individuale all'interno della stessa specie. L'aspettativa di vita prima che si inneschi il processo di senescenza definitiva può cambiare moltissimo da individuo a individuo. Dipende da alcuni geni che possono essere diversificati, ma anche lungamente conservati nell'evoluzione, dai nematodi (i vermi più amati dai biologi di laboratorio) a *Homo sapiens*.

L'evoluzione è la protagonista neanche troppo nascosta dei diversi capitoli che compongono il libro: le «infinite forme bellissime» create dalla selezione darwiniana includono anche i tanti tipi di invecchiamento che colpiscono i viventi, nonché i mezzi per limitarli. Così anche l'invecchiamento deve fare i conti con un bilancio che, quasi sempre, deve andare a somma zero. La fitness di un individuo, a grandi linee la sua capacità di riprodursi, sembra legata a doppio filo con l'invecchiamento, poiché in alcuni organismi si è notato che la capacità di iniziare presto a riprodursi è correlata alla longevità: «vivi lentamente, muori vecchio» sembra una buona approssimazione del destino che ci ha riservato proprio l'evoluzione.

Nel libro non troveremo comunque la ricetta per l'eterna giovinezza, o quanto meno, per una lunga vecchiaia, anche se detto così sembra meno attraente. Quella si trova nelle pubblicazioni di presunti *guru* che propagano bufale come l'acqua alcalina. Leggeremo invece di tante ricerche, citate in ricchissime note bibliografiche, che stanno svelando i tanti meccanismi biologici alla base dell'invecchiamento: non viene scritta la parola fine, com'è ovvio nella ricerca scientifica, ma vengono proposti tanti risultati, curiosi, paradossali, affascinanti. Senza dimenticare una dimensione politica, che Silvertown evidenzia proprio in chiusura. L'aumento del reddito pro capite allunga la vita, ma l'aumento dell'aspettativa di vita è minore dove sono maggiori le disparità di reddito all'interno della popolazione. Come scrive Silvertown, «la buona notizia è che non è necessario avere una laurea in biologia per prendere provvedimenti».

Mauro Capocci

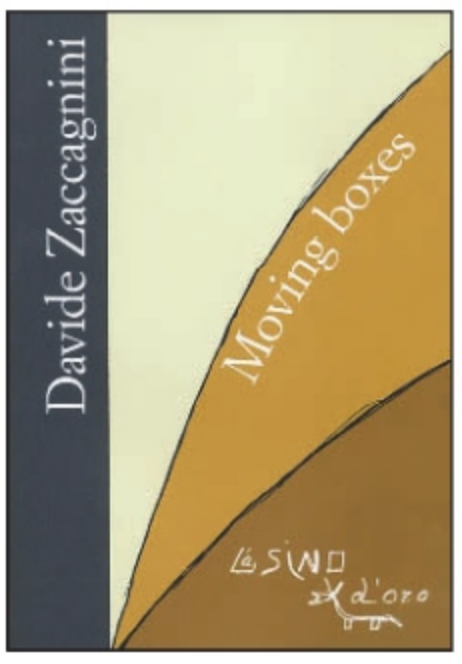
Quando la vita è vicina alla fine, l'esperienza di un terapeuta

La scelta
di Giuseppe Remuzzi
Sperling & Kupfer, Segrate (Milano), 2015,
pp. 192 (euro 16,00)

Il dibattito sul fine vita solleva conflitti etici e politici, e spesso si trasforma in rissa ideologica. Giuseppe Remuzzi, medico e coordinatore delle attività di ricerca dell'Istituto «Mario Negri» di Bergamo, lo affronta con lucidità e umanità, e prende una posizione netta. «Fare il medico significa rianimare, ma anche sospendere le cure quando sono inutili». È il medico, insomma, a dover dichiarare quando la vita non è più vita e valutare l'opportunità di insistere nelle terapie o la necessità di interromperle. Remuzzi raccoglie conversazioni con infermieri e pazienti, racconta esperienze che ha dovuto affrontare e riflette sulla scelta difficile: decidere quand'è arrivato il tempo di morire, dopo averne discusso con i famigliari e tenuto conto, quando espressa, della volontà dell'ammalato. Ma analizza anche sprechi e inefficienze del sistema sanitario.
L'autore parte da un assunto: del morire si parla poco, ma siamo mortali e dovremmo accettarlo, eppure alimentiamo e idratiamo persone in stato vegetativo permanente, cioè irreversibile. A chi sostiene che anche in queste condizioni si debbano continuare i trattamenti fino alla fine naturale della vita, Remuzzi ricorda che c'è poco di naturale in quello che è successo a Eluana Englaro, e alle migliaia di persone che sopravvivono oggi in Italia in questo stato. Così facendo, inoltre, in certi ospedali non si trova posto in rianimazione perché il posto è occupato da qualcuno che non ha prospettive di vita. Remuzzi non nega che alimentazione e idratazione aiutino a guarire, ma ci sono casi in cui aumentano le sofferenze, anziché alleviarle. Il compito del medico, invece, è anche aiutare a morire bene, guidato da sensibilità e buon senso.

Simona Regina

La complessità della medicina in un racconto autobiografico



Moving boxes
di Davide Zaccagnini
L'asino d'oro edizioni, Roma, 2015,
pp. 160 (euro 12,00)

Per gli inglesi le *moving boxes* sono le scatole del trasloco o, più letteralmente, le scatole per muoversi. Contenitori che camminano, scappano, che racchiudono i contenuti di una vita, anche quando il trasloco avviene solo nella mente. Quella del dottor Neri è una storia disseminata di scatole da aprire, una presa di coscienza graduale che accompagna il lettore per mano attraverso le parole vive e ironiche dello scrittore, che nel libro parla in prima persona.
Alberto è un brillante specializzando in chirurgia vascolare il cui primo intervento sarà l'avverarsi delle sue aspirazioni ma anche la fonte dei suoi più grandi dilemmi. Le complicazioni post-operatorie lo mettono di fronte a quella che per lui è la fallibilità non solo della medicina, ma di gran parte del metodo scientifico: qui l'impossibilità di ridurre un fenomeno nelle sue componenti obbliga i medici a gestire le infinite facce della malattia senza poterle controllare tutte, dando vita a errori diagnostici spesso fatali. In piena crisi motivazionale l'effige di Aristotele, spuntata dal nulla tra i vicoletti dell'ospedale che pensava di conoscere alla perfezione, è come una rivelazione che lo spinge a cercare risposte altrove, tra la logica e l'ontologia, e non più nella ripetitività della pratica clinica. La ricerca si concretizza in un viaggio di sola andata da Roma a Boston per trovare una soluzione a quella complessità che propone sfide sempre più difficili: l'obiettivo formulare un metodo nuovo, sviluppato su un sistema informatico avanzato, più accurato e affidabile degli stessi medici nel formulari diagnosi e stabilire terapie. Il romanzo di Davide Zaccagnini si svela infine al lettore come un viaggio autobiografico dai contenuti emozionali, che si interroga non solo sui limiti dell'intelligenza umana, ma anche di quella artificiale.

Mattia Maccarone

E luce fu, dalla scienza alla tecnologia

Stiamo passando dall'era elettronica a quella fotonica. In *Vedere, guardare* (UTET, Torino, pp. 378, 15,00 euro) il giornalista Piero Bianucci ci mostra, dalla camera oscura al big bang, l'importanza della luce, che è anche vita. Non esisteremmo se i fotoni non innescassero il complicato ma perfetto meccanismo della fotosintesi. Non sapremmo niente dell'universo se la luce non avesse compiuto un cammino di diversi miliardi di anni. Ogni cosa

che conosciamo è mediata dalla luce. La natura ha inventato 38 tipi di occhi sensibili alla opsina, una molecola fotosensibile ancestrale. Nell'uomo l'occhio inizia a formarsi dopo quattro settimane dal concepimento. Da quando nasciamo, la luce del mondo finisce sulla nostra retina. La velocità della luce nel vuoto è la massima possibile e poiché la luce è qualcosa di radicato nel cosmo, i metrologi le hanno assegnato il compito di misurare il tempo e lo spazio. Dal macro al nano, la luce è regina, ma c'è qualcosa di più antico che tornerà a regnare tra 100 miliardi di miliardi di anni, quando le galassie saranno collassate in buchi neri: il buio. Forse, come dice Bianucci, l'universo è un lampo tra due oscurità.

Cristina Bellon

Da te solo a tutto il mondo
di Jared Diamond
Einaudi, Torino, 2015,
pp. 126 (euro 13,00)

Il pianeta secondo Diamond, in una raccolta di lezioni

La rivincita della geografia. Si potrebbe riassumere così lo spirito di questo libro, che raccoglie le lezioni tenute da Jared Diamond nel 2014 alla LUISS di Roma. In poco più di 100 pagine si ha un assaggio del modo in cui l'autore di *Armi, acciaio e malattie* e *Collasso* guarda il mondo provando a spiegare le diversità tra le società umane e del metodo con cui analizza la realtà. Diamond racconta di quando, giovane fisiologo addestrato con lunghe sessioni di esperimenti in laboratorio, iniziò a maturare la passione per l'ornitologia e si ritrovò a fare i conti con l'impossibilità di fare esperimenti con gli uccelli che voleva studiare in zone remote della Nuova Guinea. Comprese allora il valore degli esperimenti naturali, quelli in cui, non potendo compiere manipolazioni sull'ambiente, si confrontano popolazioni diverse di animali nel loro ambiente.

Così è nata la passione del biogeografo dell'Università della California a Los Angeles per gli studi comparativi. Non contento di limitarsi a osservare i pigliamosche dorsoverde e dorsogrigio nelle foreste del Sudest asiatico, si è dedicato alla sorte delle popolazioni umane, cercando di capire perché nazioni come Zambia e Paesi Bassi hanno conosciuto destini tanto diversi. Diamond ha guadagnato negli anni popolarità e critiche per i tentativi di spiegare la condizione economica di paesi molto differenti cercandone l'origine in parametri fondamentali, come posizione geografica, accesso alle risorse, incidenza di malattie infettive. In queste lezioni, dopo aver sottolineato il «peso della geografia», Diamond definisce anche le caratteristiche delle buone istituzioni, dall'assenza di corruzione alla tutela del libero scambio, ma ribadendo che le buone istituzioni sono nate dove più precoce è stato lo sviluppo dell'agricoltura e di società sedentarie complesse.

Diamond guarda anche all'oggi e dedica un capitolo a «crisi e cambiamento», ragionando in parallelo sulle crisi individuali e quelle collettive, che coinvolgono paesi interi, e sulle strategie per uscirne, prendendo come caso studio la restaurazione Meiji in Giappone tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del secolo scorso, che cambiò volto al paese del Sol levante, catapultandolo nella modernità dopo secoli di isolamento. A partire da queste riflessioni Diamond analizza le sfide che abbiamo innanzi, dai cambiamenti climatici all'ipersfruttamento delle risorse alle disuguaglianze economiche e sociali, invitando i leader del mondo a imparare dagli errori del passato e a guardare al futuro a partire dalle conoscenze scientifiche

Marco Motta

L'alternativa razionale
di David Keith
Bollati Boringhieri, Torino, 2015
pp. 142 (euro 15,00)

Come frenare il riscaldamento della Terra in modo realistico

A prima vista può sembrare l'idea azzardata di uno sfrenato tecno-ottimista. Ma leggendo si cambia presto impressione (nonostante la traduzione a volte faticosa e con qualche svista di troppo). Keith, professore di fisica applicata e di policy pubbliche alla Harvard University, lo argomenta con ragionevolezza: la geoingegneria solare, pompare nella stratosfera gocce di acido solforico che riflettano una parte della radiazione solare, mantenendo un po' più fresco il pianeta, è una via che vale almeno la pena di esplorare, prima di decidere se avvalersene. Anche perché non abbiamo molte altre opzioni per frenare il cambiamento climatico con effetti rapidi. Ostacoli insormontabili non ce ne sono. Le tecnologie mancanti si possono sviluppare in pochi anni. I costi del programma prospettato sono più che ragionevoli e i rischi prevedibili sono modesti, considerato anche che le immissioni annue di acido solforico crescerebbero con lentezza fino a toccare, fra alcuni decenni, solo un cinquantesimo delle attuali emissioni umane di composti dello zolfo.

Keith non nasconde i limiti dell'idea. Solo alcuni effetti della CO_2 sarebbero attenuati, per esempio non l'acidificazione delle acque, e comunque non annullati come se niente fosse: il raffreddamento funzionerebbe solo quando c'è il Sole e quindi, a parità di temperature medie, avremmo giorni ed estati più freschi, e notti e inverni più caldi. Gli effetti varierebbero inoltre nelle diverse regioni e le precipitazioni sarebbero alterate. I solfati possono poi danneggiare l'ozono in quota e la salute umana quando scendono in basso. Quindi, per evitare perturbazioni eccessive, si dovrebbe puntare solo a dimezzare il riscaldamento del pianeta nei prossimi decenni. Le simulazioni da cui discendono queste conclusioni, inoltre, poggiano in gran parte su studi del solo gruppo di Keith, con tutti i rischi che ciò comporta. Se la scelta fosse tra lanciare oggi un programma simile o no, infatti, Keith sarebbe contrario. Serve invece un piano di ricerche che, se analisi più approfondite confermeranno i rischi modesti, preveda limitate prove reali, per ampliare le conoscenze e verificarle sul campo restando sempre in tempo per fermarsi in caso di imprevisti, l'acido solforico resta nella stratosfera circa un anno, quindi gli effetti svanirebbero presto.

I rischi maggiori, riconosce Keith, sono in realtà quelli geopolitici. La geoingegneria potrebbe disincentivare la riduzione delle emissioni, che resta invece indispensabile. E l'umanità non ha ancora istituzioni globali in grado di maneggiare strumenti così potenti, che possono avvantaggiare alcuni e danneggiare altri.

Giovanni Sabato

Il legame tra vetrai e scienziati

In occasione dell'Anno internazionale della luce, l'Istituto veneto di scienza, lettere e arti di Venezia ha organizzato una mostra sul rapporto tra luce e vetro

Luce e vetro sono un binomio che da secoli ha reso celebre Venezia nel mondo: la luce unica della città sospesa sulle acque della laguna che ha affascinato generazioni di artisti e la luce che anima le creazioni dei mastri vetrai dell'isola di Murano. È lo stesso binomio celebrato per l'Anno Internazionale della luce e delle tecnologie basate sulla luce dalla mostra organizzata dall'Istituto veneto di scienze, lettere e arti in collaborazione con VICARTE, l'unità di ricerca in vetro e ceramica per le Arti dell'Universidade Nova di Lisbona.

Il rapporto tra luce e vetro è al centro delle opere che 15 artisti internazionali sono stati chiamati a produrre per occupare le sale di Palazzo Loredan, in Campo Santo Stefano a Venezia. Le tecniche impiegate sfruttano il neon (ritrovato tecnologico abbondantemente esplorato da arte e pubblicità nel Novecento), la luce naturale, la scultura in vetro, le tecniche tradizionali della vetreria muranese, la fotografia («scrivere con la luce», secondo Vittorio Storaro, tre volte Oscar per la miglior fotografia), la trasparenza, il disegno, la pittura e la luminescenza.

A metà strada tra scienziati e artisti, i ricercatori di VICARTE si sono concentrati sulle potenzialità dei vetri borosilicati luminescenti. Una grande sfida vinta, come testimoniano gli studi dello scorso anno pubblicati sul «Journal of Physical Chemistry» e sul «Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer», è la produzione di vetri di questi tipo privi di bolle che ne compromettano l'omogeneità e alterino il modo in cui riflettono e assorbono la luce. L'abbinamento con la tecnologia dei LED ultravioletti ha inoltre permesso di produrre vetri luminescenti dall'interno e modellabili in sculture vitree. Quelli in mostra sfruttano i pannelli solari come sorgente di energia.

Dal connubio tra antico e nuovo, tra arte vetraria e ricerca in laboratorio è nata anche un'altra collaborazione, di cui l'esposizione veneziana rende conto: quella tra l'artista Richard Meitner e uno dei marchi italiani più dinamici nel settore dell'illuminotecnica per la realizzazione di lampade-prototipo che sfruttino proprio i risultati di VICARTE. Scienza e arte, ancora una volta, si dimostrano un connubio, è il caso di dirlo, radioso.

Marco Boscolo

Scenario e opere. Sopra, una delle sale di Palazzo Loredan a Venezia, sede della mostra. In basso due opere esposte: a sinistra *Refractograph S194 – 24A* (2012) di Alan Jaras; a destra, *Tako-age* (2015) di Richard Meitner.

Cortesia Istituto veneto di scienze, lettere e arti (*Palazzo Loredan*); cortesia Alan Jaras e Richard Goodall Gallery, Manchester, Regno Unito (Refractograph S194 – 24A); cortesia Richard Meitner (Tako-age)

Dove & quando:

Within Light/Inside Glass. Un'intersezione tra arte e scienza
Fino al 19 aprile, Istituto veneto di scienze, lettere e arti
Palazzo Loredan, Venezia
www.istitutoveneto.it

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

Troppo terrestri per essere alieni

La concezione di vita extraterrestre degli ufologi è limitata e antropocentrica

Gli ufologi spesso rimproverano agli scettici di essere mentalmente chiusi e di non voler guardare più in là delle aride prove scientifiche: perché mai non accettano che almeno una parte degli avvistamenti non spiegati di oggetti volanti non identificati sia causata da veicoli extraterrestri? La risposta tipica degli scettici è che «non spiegato» non significa «inspiegabile» o «spiegabile soltanto con un veicolo alieno»: significa, di solito, semplicemente che mancano dati sufficienti per spiegare con certezza il fenomeno. Ma c'è anche un'altra risposta, ed è che gli appassionati di ufologia hanno una concezione troppo miope e antropocentrica della vita extraterrestre.

Un esempio concreto: poche settimane fa un gruppo di astronomi che studiano i dati trasmessi dalla sonda Kepler della NASA ha annunciato la scoperta di una stella, Kepler-444, che ha 11 miliardi di anni. Intorno a questa stella, situata a circa 117 anni luce dalla Terra, orbitano almeno cinque pianeti che si sono formati prima ancora che esistesse il nostro Sole e la Terra prendesse forma. La scoperta dimostra che la formazione di sistemi planetari stabili avveniva già quando l'universo era giovane.

Un'ipotetica forma di vita sviluppatasi su pianeti inconcepibilmente antichi come questi avrebbe avuto circa sette miliardi di anni di vantaggio rispetto a noi. L'intera storia della vita sulla Terra, dal primo microrganismo a oggi, sarebbe una piccola frazione della sua esistenza; tutte le nostre conquiste sociali e tecnologiche sarebbero un batter di ciglia nella sua storia. Una civiltà extraterrestre nata all'alba dell'universo avrebbe, nei nostri confronti, un vantaggio culturale e tecnologico inimmaginabile. Pensare, come fanno gli ufologi, che verrebbe a visitarci con veicoli spaziali riconoscibili come tali, o che avrebbe ancora bisogno di veicoli o della materia stessa, è un'ingenuità assoluta: è come aspettarsi che una mosca possa concepire un Jumbo Jet. Teorizzare che una civiltà in grado di superare gli abissi tra le stelle sarebbe incapace di nascondersi ai radar o alle fotocamere e che farebbe immensi viaggi siderali per poi scarabocchiare cerchi nel grano, abusare sessualmente di bovini o rapire persone per compiere esperimenti significa misurare egocentricamente il cosmo con un metro molto umano e davvero misero.

La recente scoperta di pianeti antichissimi rende ancora più inquietante la domanda paradossale che pose il grande fisico Enrico Fermi tanti anni fa: in un cosmo così antico e brulicante di stelle, dove sono tutti quanti? Per esempio, una civiltà in grado di costruire sonde interstellari di Von Neumann (veicoli robotici capaci di usare le materie prime dei sistemi solari visitati per creare copie di se stessi da lanciare verso altre stelle, e così via con una riproduzione esponenziale) potrebbe esplorare ogni singola stella dell'intera Via Lattea in una decina di milioni di anni: niente rispetto ai miliardi di anni dei mondi orbitanti attorno a Kepler-444. L'universo è insomma così longevo che ci sarebbe stato tempo non solo per esplorare automaticamente tutta la galassia, ma per esplorarla più volte in ondate successive.

Perché una civiltà in grado di superare gli abissi tra le stelle dovrebbe avere ancora bisogno di veicoli spaziali o della materia stessa? (*Sopra, un parcheggio a Roswell.*)

Joseph Sohm, Visions of America/Corbis

Queste considerazioni grandiose, va notato, sono frutto della ricerca di quegli scettici che secondo gli ufologi sono mentalmente ottusi. Astronomi e fisici hanno immaginato con rigore scientifico un universo immenso, popolato da automi interstellari vecchi più del nostro Sole, mentre gli ufologi sono rimasti fermi agli alieni umanoidi e ai dischi volanti che dimenticano di spegnere i fari per non farsi notare. I fenomeni reali che stanno alla base degli avvistamenti di UFO meritano certo di essere studiati: ma se l'ufologia vuole farsi prendere sul serio, prima di tutto deve affrontare il compito ingrato di sbarazzarsi degli ufologi che spiegano con ET qualunque puntino indistinto che si muove in cielo.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

Risi della (recente) tradizione

Breve storia delle numerose varietà di riso italiane sviluppate in tempi recenti

Il riso ha un posto speciale nella storia gastronomica italiana. In alcuni casi, come nel risotto alla milanese, è diventato un vero e proprio simbolo cittadino; ma anche nelle regioni centro-meridionali il riso ha saputo trovare una sua collocazione, dagli arancini siciliani al supplì romano al sartù napoletano. Portato dagli Arabi verso la fine del Medioevo prima in Spagna e poi in Italia, il primo documento che attesta la coltivazione del riso nel nostro paese è una lettera del 1475 del Duca di Milano Galeazzo Maria Sforza con la quale accompagna il dono al Duca d'Este, signore di Ferrara, di un sacco di riso da semina.

Nonostante la sua storia secolare in Italia, le varietà di riso che consumiamo oggi sono state sviluppate solo recentemente. Per secoli nella penisola si è coltivato un riso genericamente chiamato Nostrale. Nella seconda metà dell'Ottocento cominciarono ad apparire rudimentali selezioni di varietà, come il Lencino del 1857, derivate da semi provenienti dall'Asia, ma è solo dall'inizio del secolo scorso che cominciano a diffondersi varietà di riso ben distinte. Nel 1904 fu introdotta in Italia una varietà asiatica chiamata «Chinese Originario» che nel 1920 occupava il 60 per cento della superficie risicola italiana. Da questa in seguito furono selezionate varietà diventate famose, come Originario, Maratelli e Balilla, rilasciato per la coltivazione nel 1924, negli anni novanta era ancora il riso a chicco tondo più diffuso.

Il bisnonno di molti risi moderni è il Vialone. Nel 1901 i fratelli De Vecchi, nella loro risaia della cascina Vialone di Pavia, selezionarono una nuova varietà che chiamarono Vialone Nero, o semplicemente Vialone. Fu solo nel 1925 che l'idea di incrociare risi diversi per ottenere nuove varietà cominciò a far presa in Italia grazie al professor Giovanni Sampietro, della Stazione di risicoltura di Vercelli. I primi frutti arrivano sui campi solo nel 1933 ma è nel 1937 che Sampietro produce il suo capolavoro: il Vialone Nano, ottenuto incrociando il Vialone con il Nano. A oggi è la varietà più antica ottenuta per incrocio ancora coltivata. Il celebrato Carnaroli, considerato oggi da molti cuochi il riso d'eccellenza per risotti, è nato nel 1945 dall'incrocio tra il Vialone e il Lencino, e anche l'Arborio nasce in questo periodo. Nato da un incrocio tra il Vialone e la varietà statunitense Lady Wright, è coltivato per la prima volta nel 1946. Per i trent'anni successivi per i consumatori italiani l'Arborio è stato sinonimo di riso da risotto. La risicoltura però si evolve, e da allora sono nate altre varietà che rivaleggiano con l'Arborio in cucina, e che possono legalmente essere vendute come Arborio.

Il commercio del riso in Italia è regolamentato da una legge del 1958, secondo la quale il riso è raggruppato in classi omogenee per i diversi impieghi culinari, e sulla scatola o sul sacchetto si può mettere il nome del «più famoso» della stessa classe. È il caso del Volano. Se nel 1982 venivano ancora coltivati 20.000 ettari di Arborio e solo 500 di Volano, l'Arborio ha un lento ma inesorabile declino, di pari passo con l'ascesa del Volano. Nel 2000 all'Arborio sono dedicati 5700 ettari e al Volano 17.000. Nel 2012 il Volano occupa quasi 20.000 ettari e il blasonato Arborio, ridotto al lumicino, solo 674 ettari. La probabilità che in una scatola di Arborio ci sia veramente l'Arborio sono, come potete immaginare, piccole.

Un caso analogo riguarda il Carnaroli. Anche nel suo caso sono state sviluppate varietà molti simili, come il Karnak, che si differenzia per la taglia più bassa della pianta. Il Karnak ormai rivaleggia, come superfici coltivate, con il cugino più famoso di cui può utilizzare il nome sulla confezione. Insomma, se avete una scatola di riso quasi finita, e la mescolate con una seconda scatola dello stesso tipo ma di marca diversa, potreste mescolare due varietà diverse e ottenere risultati gastronomicamente non ottimali.

Sapori mediterranei. Arancini siciliani bianchi, ovvero nella versione con carne e formaggio ma senza sugo: uno dei tanti piatti della cucina italiana in cui il riso è protagonista.

© Ted Horowitz/Corbis

Energia dai buchi neri?

di Adam Brown

Tra qualche miliardo di anni, quando il Sole morirà, un'ipotetica civiltà umana del futuro potrebbe sopravvivere trovando un'altra fonte di energia nei buchi neri? Forse sì: se riuscisse a estrarne la radiazione termica realizzando un ascensore spaziale dotato di un cavo in grado di resistere all'intensa attrazione gravitazionale vicino all'orizzonte di un buco nero.

OGM in medicina: il tesoro sprecato

di Lisa Signorile

Quando si pensa agli OGM si dà per scontato che si parli di agricoltura, ma sono anche la base di vaccini e farmaci salvavita. E poiché a regolarli sono spesso le stesse leggi che ne vietano la ricerca in campo alimentare, a volte l'Italia è costretta ad acquistare all'estero farmaci sviluppati a partire da studi italiani mai completati.

La verità evolutiva sui fossili viventi

di Alexander J. Werth e William A. Shear

Coniato da Darwin per descrivere «forme anomale... durate fino al tempo presente», il termine «fossili viventi» è ambiguo ed è spesso usato in modi difformi e inadeguati, ma conserva una sua utilità in tema di evoluzione, ecologia e tassonomia poiché ripropone profonde questioni scientifiche e filosofiche sul concetto di specie.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - febbraio 2015

Copyright © 2015 by Le Scienze S.p.A.
ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Chiara Barattieri: *Alla ricerca di tesori sommersi*; Elena Bernacchi: *Meglio della Terra;* Mauro Capocci: *Un punto debole nella fortezza dei batteri;* Valeria Gili: *Un mondo in movimento*; Lorenzo Lilli: *Che gusto avrà il nostro vino?;* Cristina Serra: *Terapia virale contro il cancro;* Alfredo Tutino: *La questione del libero arbitrio.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7827 del 9/2/2015

Kenn Brown/Monolithic Studios (*buco nero*); Hoberman Collection/Corbis (*celacanto*)

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

SPECIALE ABBONAMENTO

Ogni mese direttamente a casa tua le ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

IN ESCLUSIVA, solo con l'abbonamento, ti assicuri la possibilità di consultare sul **nuovo sito www.lescienze.it** gli oltre **4.200 articoli** pubblicati dal 1968 ad oggi!

E, se vuoi, puoi decidere di **regalare l'abbonamento alle stesse condizioni!**

Fino al 38% di sconto

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO DI COPERTINA	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO - 12 NUMERI	€~~54,00~~	**€39,00**	€15,00
2 ANNI - 24 NUMERI	€~~108,00~~	**€75,00**	€33,00
3 ANNI - 36 NUMERI	€~~162,00~~	**€99,00**	€63,00

Offerta valida solo per l'Italia

SCEGLI DI ABBONARTI!

- **È CONVENIENTE**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio!
- **È COMODO**
  Riceverai Le Scienze ogni mese a casa tua senza alcun costo aggiuntivo e con il prezzo bloccato!
- **È FACILE**
  ✓ Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
  ✓ Chiama il n. 199.78.72.78* **(0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari.)**
  ***Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).**
  ✓ Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista

RANGE ROVER SPORT

Il deserto del Rub al-Khali, conosciuto anche come Empty Quarter: 650.000 chilometri quadrati di terreno arido e inospitale. Eppure, il 3 novembre 2013, con punte di velocità di 200 chilometri all'ora, la Range Rover Sport l'ha attraversato con il tempo più veloce di sempre, soltanto 10 ore e 22 minuti. Range Rover Sport. Con le sue prestazioni da record, apre nuovi confini.

landrover.it

LAND ROVER

ABOVE & BEYOND

Land Rover consiglia Castrol Scopri le soluzioni d'acquisto personalizzate di LAND ROVER FINANCIAL SERVICES. Consumi da 7,3 a 12,8 litri/100 Km (ciclo combinato). Emissioni CO_2 da 194 a 298 g/Km.

IRB RUGBY WORLD CUP 2015

WORLDWIDE PARTNER